

架空索の主索に関する研究 (第 I 報)

集材機の主索張力について

上 田 実⁽¹⁾・石 橋 泰 彦⁽²⁾
齋 藤 敏 彦⁽³⁾・平 松 修⁽⁴⁾

目 次

I は し が き	133
II 試 験 概 要	134
III 試 験 成 績	140
IV 考 察	146
1. 計算値と実測値との比較	146
2. 作業索の影響	150
V 試験結果の現場への応用	153
1. 負荷索の中央垂下比 (s/d) と張力比 (T_B/W) との関係	153
2. 支点における主索の傾斜角と張力比 ($T/(W+Q)$) との関係	153
3. 鋼索の弾性伸びを考慮に入れて各種因子を推定する算定式	154
VI 総 括	169
付録 I 垂曲線式の誘導	170
付録 II 「鋼索の弾性伸びを考慮に入れて各種因子を推定する算定式」を検討するための実験	182

I は し が き

わが国における架空索運材は戦前より、集材機運材は長野・高知などの営林局において、索道運材は長野・高知・三重・静岡などの諸県においてかなり活発に行なわれてきたが、戦後昭和 24 年ころより逐次各府県に普及し、いまや山元生産材の過半は架空索により集運材されているといつても過言ではない現況であり、今後ますますこの傾向を強くするものと考えられる。しかしこの方面の研究は歴史が古く、その計算方式あるいは計算用ノモグラフなどはきわめて多数にのぼっている。このうち林業において最も多く使われているものはつぎの二つである。

一つは故若名孝太郎氏の垂曲線理論式であり、他の一つは加藤誠平氏の拋物線理論である。前者は単位長重量一定の索が懸垂している微小部分における平衡条件より導かれた垂曲線理論を基にして、負荷索については水平分力一定の条件より、荷重点より下方における索曲線が荷重点より上方の索曲線の延長中に存在するとして誘導された算式であるが、双曲線函数で各因子をあらわしているため数値計算が一般むきでない憾みがある。後者は懸垂索の支点におけるモーメント零の条件より誘導した垂下量の代数函数式であり、無負荷索の中央垂下比 (中央垂下量と水平距離との比) によつて負荷索の張力、索長などを求めるようにした点に特徴があり、数値計算も前者に比べて容易であるが、無負荷索の索長と負荷索の索長を同

(1) 経営部作業科機械研究室長 (2) (3) (4) 経営部作業科機械研究室員

一とみなして算定式ができているので弾性補正を行なう必要があり、負荷索の張力をその垂下比で求めた場合困惑することがあった。また、算式の精度については現場において実測した例はほとんどなく、室内実験程度の規模において理論式の適合性を推測するにとどまっていた。さらに算式はいずれも静力学的に取り扱っている所以その最大張力に対し、集材機作業中にみられる積荷横取り、あるいは荷卸し時の張力がこれを上回るのではないかという不安もあり、作業中の張力の実態を知りたいという現場の要望はきわめて強い。

以上のような現況にかんがみ、著者らは負荷時の主索張力を求める算式を、苦名式については数値計算の容易な代数函数式に書き改め（以下垂曲線式と称呼する。ただし、この場合は中央点に負荷を受けたものだけとする）、また加藤式については負荷時の垂下量で求める式に変形し（以下拋物線式と称呼する）、これらの式の精度を検討するため現場における集材機作業中の主索の張力を自記記録し、同時に搬器が中央点・荷掛場・荷卸場上にあるときの主索の垂下量を測量により求め、計算値と実測値との比較を行なった。また、主索の垂下量を求めるのは現場においては容易でないため、簡便に主索張力を求める方法として主索の支点傾斜角による算式を誘導し、支点近くにおける主索傾斜角を測定してこの式の適合性について検討を行なった。また、作業索張力が主索の張力におよぼす影響について静力学的検討を加えた。さらに鋼索の伸びを考慮することにより、無負荷索の許容荷重比や無負荷索にある負荷を与えたときの主索張力などを求める算式を誘導し、その精度を確かめるため本試験データを用いて一部の算式について検討を加えた結果、実用に供しうることがわかった。

なお、算式の記号は垂曲線式、拋物線式とも記号を統一し、垂曲線式については未発表のものもあるので付録Ⅰにおいてその誘導過程を述べた。また、付録Ⅱにおいて「鋼索の伸びを考慮にいれて各種因子を推定する算定式」の精度を確かめるために行なった実験結果を補足した。

本試験において使用した主索張力測定用試験装置は東京営林局作業課長高氏弥作氏の好意により借用をうけたものであり、現場試験にあたっては平塚営林署各位になみなみならぬご協力を受けた。また元農工大学農学部林学科学学生小林正直・菅野二郎・小峯 賢・坂口正晃の4氏に試験業務の一部を担当してもらい、またデータ整理、計算業務の労を煩わした。さらにとりまとめに際しては、作業科長米田幸武氏ならびに防衛大学教授本多三雄氏（元作業科長）の助言を仰いだ。ここに深甚の謝意を捧げる。

Ⅱ 試 験 概 要

1. 試験の場所および時期

東京営林局管内、平塚営林署世附国有林、水ノ木伐木事業所 120 林班において昭和 34 年 8 月 25 日から 9 月 5 日にわたって現場試験を行なった。試験地の位置および概要図を第 1 図に示す。また、試験現場測量図は第 2 図のとおりである。

2. 集材方式

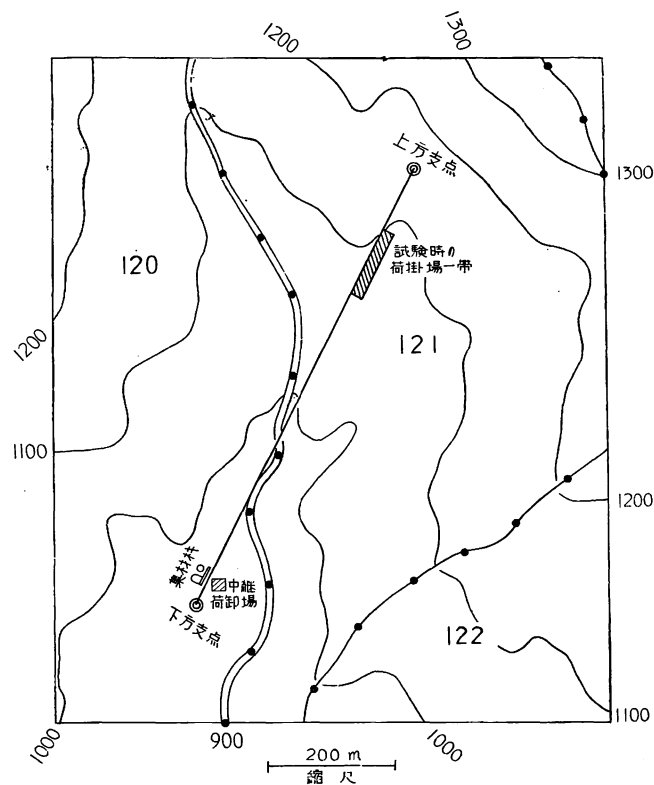
この試験に使用した集材機の要目と架線方式を示すとつぎのとおりである。

集材機 岩手富士産業株式会社製 Y-25 (FGL No.761 昭和 32 年 5 月製作) いすず GA 110 型

(3,200 r.p.m. 105 HP) 付 2 胴 12mm 鋼索捲込容量 770mm 速度 3 段

架線方式 タイラー式

水平距離 777.711m, 高低差 187.78m, 傾斜角 13°34'28"

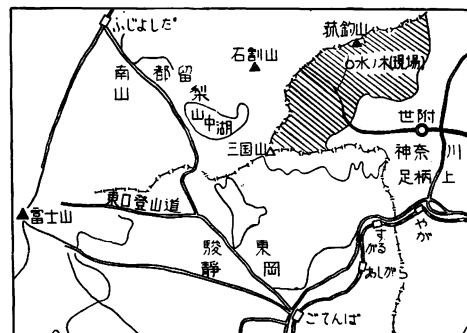


主索 6×7 ラング Z 26mm 2種, 引戻索 6×19 普通 Z 10mm , 荷揚索 6×19 普通 Z 12mm

3. 試験装置および試験方法

本試験の試験装置および試験要領は作業索張力および作業索速度測定については集材機作業索に関する研究 (第 2 報)¹⁾ とほとんど同じ要領で行なった。主索張力についてはこれまでは引締索の張力を測定することにより間接的に求めてきたが²⁾, これは引締滑車の摩擦が複雑に影響するため適当な方法ではない。今回の試験では新たに容量の大きい主索張力測定用油圧筒を試作して, 下方支点 (直径約 2m の根株に固定されている) 近傍で写真 1 の要領により直接主索張力を測定した。

主索張力, 作業索張力, 同速度測定用の



第 1 図 試験地の位置および概要

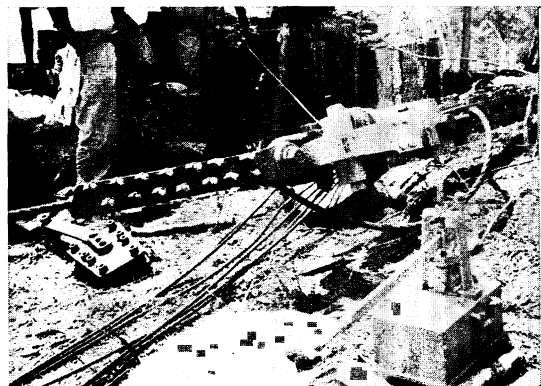
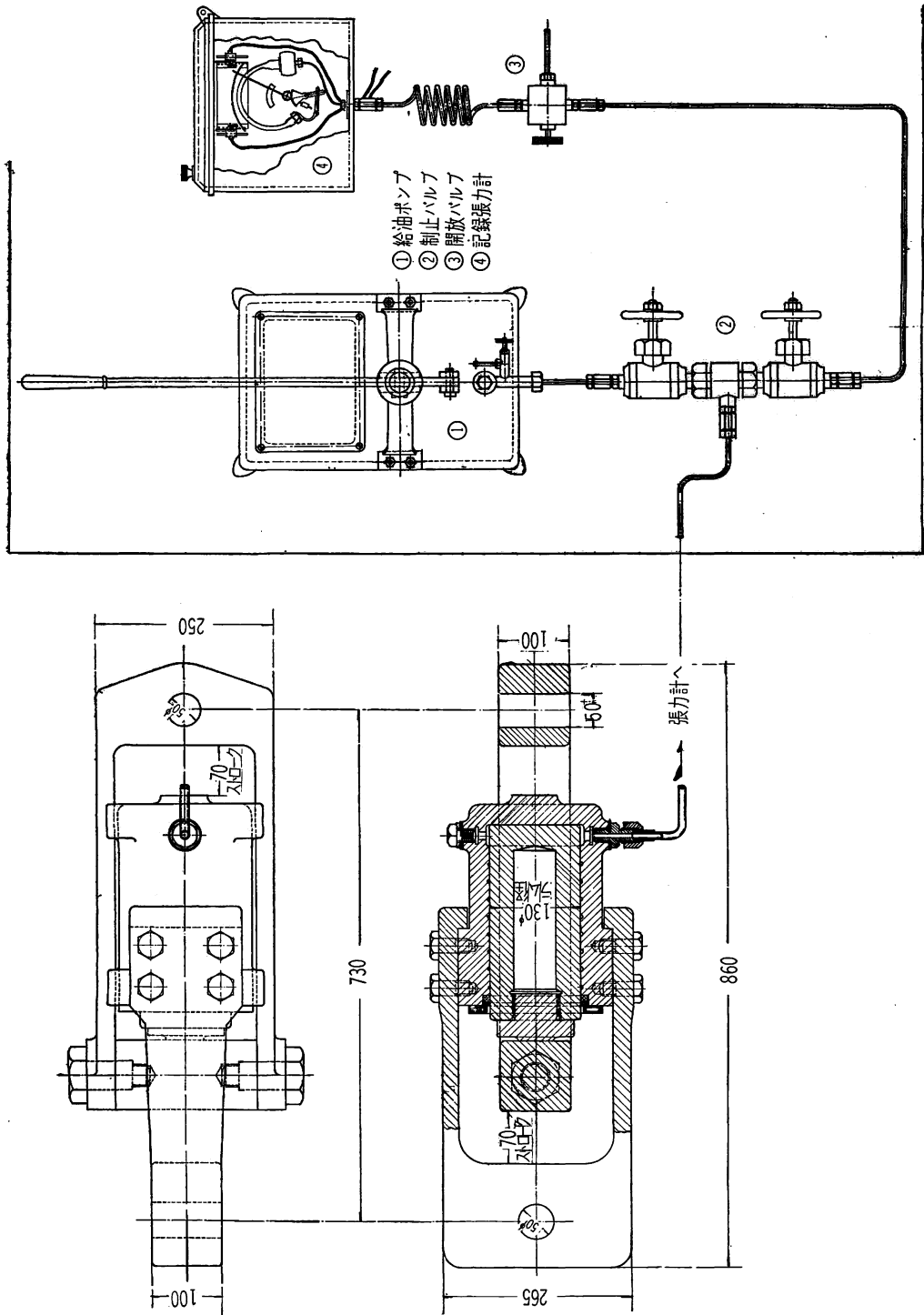


写真 1 主索張力測定用油圧筒と手押しポンプ



第3図 主索張力測定用油圧筒と計器配置平面図



写真 2.1 主索張力測定用自記圧力計

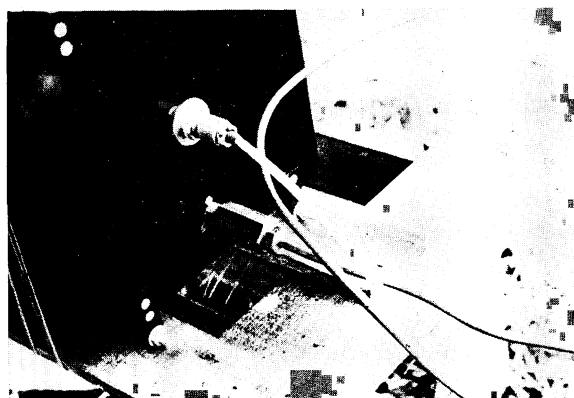
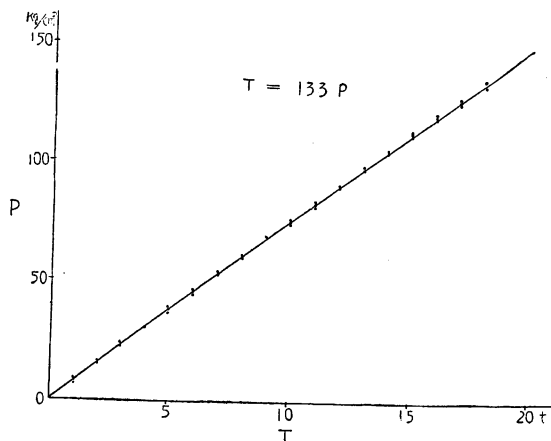


写真 2.2 同上 背面



第 4 図 主索張力測定用油圧筒検定図

各自計器に「電磁ペン」を 2 箇所ずつ取り付け、一つは搬器が主索の中央点を通過する時点ならびに搬器が荷掛場および荷卸場上にあつて測量班が主索の垂下量を測量した時点に「押し釘」を押すことにより「電磁ペン」を作動させ、他の一つは秤量班においてつぎの作業区分により「電磁ペン」を作動させることにした。

①吊下滑車巻上げ ②空搬器返送開始
③荷掛場到着 ④吊下滑車引込み ⑤積荷巻上げまたは曳出し開始 ⑥実搬器自重走行開始 ⑦荷卸場到着

試験は上記①から⑦までをもつて 1 回の記録とした。

以下各測定項目について述べる。

1) 主索張力

第 3 図に示すような断面積 133 cm^2 、能力 30 t の主索張力測定用油圧筒内の油圧を銅管 (肉厚 1.5 mm 、内径 5 mm) によりブルドン管式自記圧力計 (長野計器製 P_2 型、容量 300 kg/cm^2 、写真 2.1, 2.2) に導き、張力変化に応じた油圧筒内の油圧を自記した。なおこの油圧と張力との関係をワイヤロープ引張試験機により検定した結果は第 4 図のとおりである。本装置には油圧筒内に油を補給するための手押しポンプ (写真 1) と、自記圧力計指針の零調整のための油抜きバルブおよび三方切替コック (油圧筒・自記圧力計・手押しポンプとの切替用) が付属している (写真 3)。

2) 作業索張力

張力測定方法は第 5 図にみるごとく、

2 箇の並滑車を通過する作業索の中央付近を回転計付並滑車³⁾で横取りして、その張力測定索の引張力を断面積 33 cm^2 および 42 cm^2 の油圧筒を用いて自記圧力計 (写真 4) にそれぞれ記録させた。張力検定の結果は第 6 図のとおりである。回転計付並滑車の横取り角度より作業索と張力測定索との張力比を求めると、荷揚索においては $1.287 : 1$ であり、引戻索においては $1.1208 : 1$ であった。

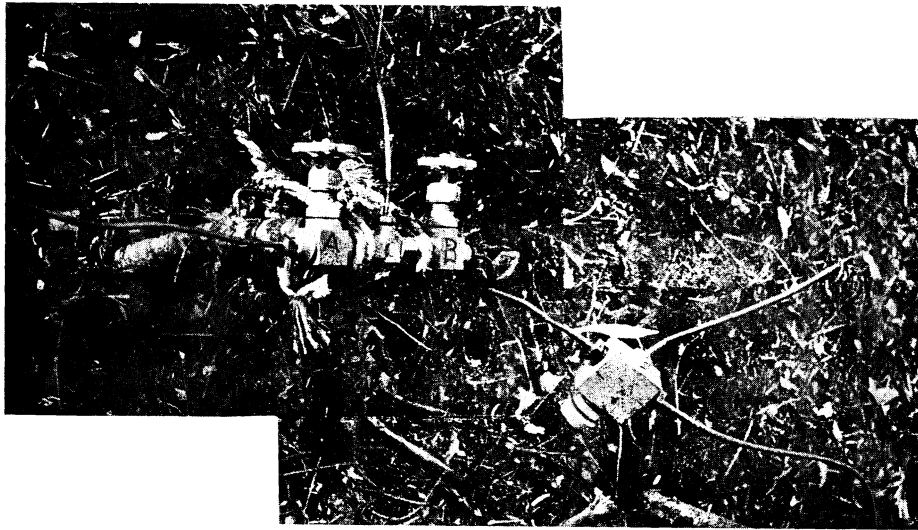
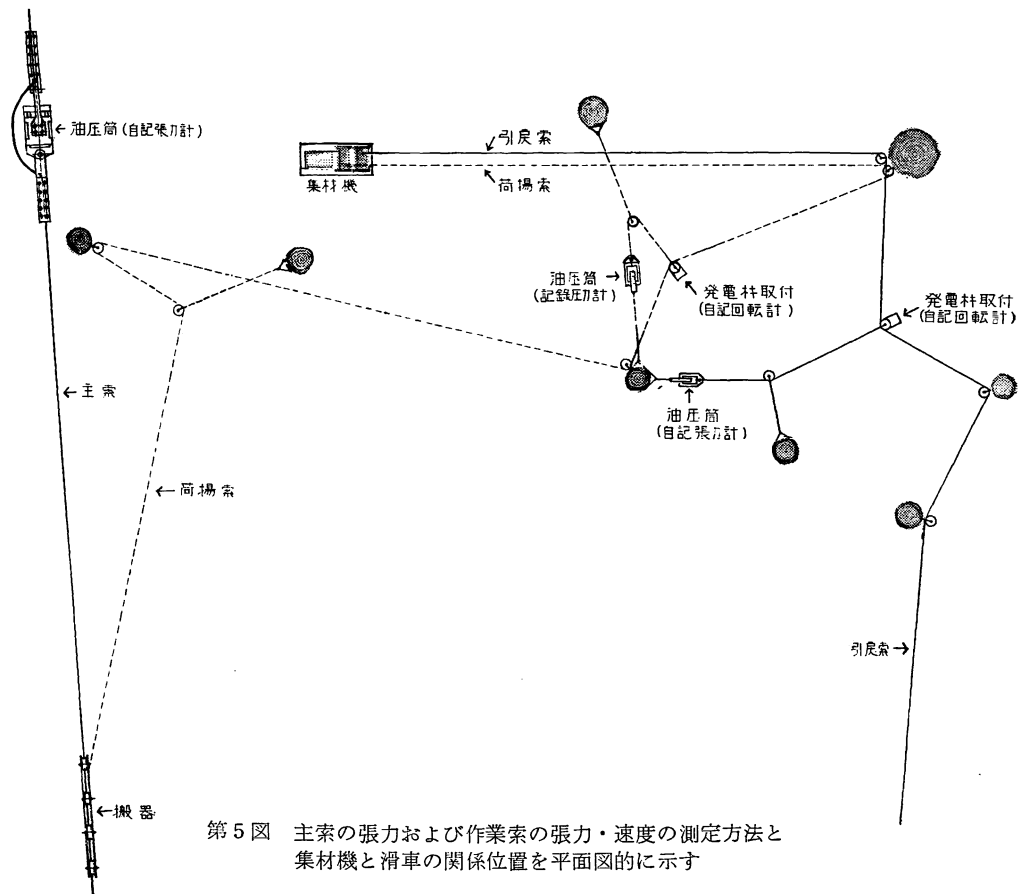
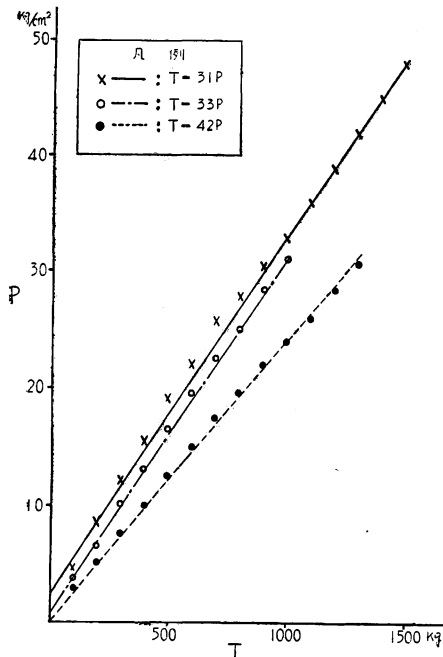


写真3 三方切替コックと油抜きバルブ



第5図 主索の張力および作業索の張力・速度の測定方法と集材機と滑車の関係位置を平面図的に示す



第 6 図 作業索張力および木材重量測定用油圧筒検定図

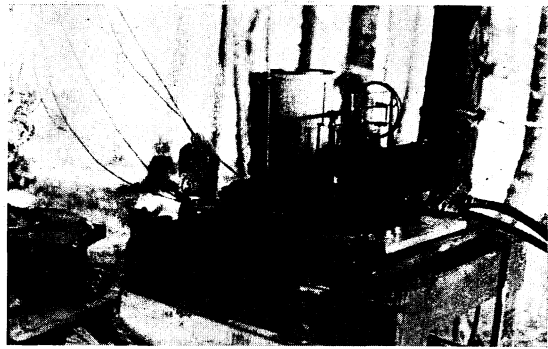


写真 4 作業索張力測定用自記圧力計

3) 作業索速度

前述の回転計付並滑車により滑車に圧接したプーリーの回転数を記録回転計（横河 KR-IC 型）に自記した。

4) 垂下量ならびに搬器の位置

第 2 図に示すごとく荷掛場および荷卸場の見透せる山腹斜面に約 100m の間隔においてトランシット

を 2 台据付け、一つは搬器が中央点にあるとき、他の一つは搬器が荷掛場と荷卸場にあるときの主索の垂下量を測量した⁴⁾。中央点の垂下量測量ではあらかじめ定められた中央点の方位に望遠鏡を向けて、搬器が視線を通過したときの主索の垂下点を読むことにし、荷掛場および荷卸場上に搬器があるときは搬器の位置とそのときの主索の垂下量を同時に測量するほか、吊下滑車の位置をも測量した。

5) 支点傾斜角

下方支点近傍の主索の傾斜角を傾斜計により測定した。測定時期は主索の振動の少ない搬器が荷掛場あるいは荷卸場にあるときを選んだ。

6) 吊荷重量

吊荷が荷卸場に到着したら荷を一たん卸し、断面積 20 cm^2 の油圧筒 (100 kg/cm^2 のブルドン管式圧力計付) を中間に入れて再度荷を吊りあげ、双眼鏡により指針を読みとり検定図 (第 6 図) から荷重を求めた。

III 試験成績

この試験において得られた測定値を表示すると第 1・1, 1・2 表のとおりである。また、主索ならびに作業索の張力変化は第 7, 8 図に大別される。第 7 図は実搬器が支間中央点にあるときの張力（以下中央値と呼ぶ）が最大値を示した例であり、第 8 図は積荷横取り時の最大張力が中央値を越えている場合を示したものである。主索の張力変化は作業索、とくに引戻索に比べるとかなり緩慢であるが、積荷を横取りする時は激しく主索が動揺して第 8 図のような張力の増減がみられることがある。これは乱雑に集積された材の中から吊材を曳き出す際これが障碍木に引っかかった場合にみられた。

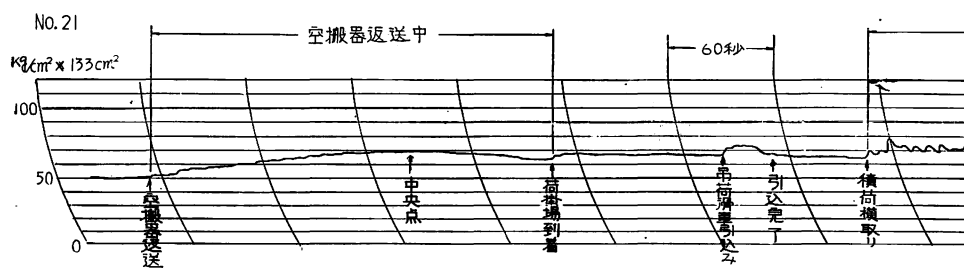
また、実搬器運行中と荷卸し時において周期的変動がみられた。前者は搬器自重走行にともなつて引戻

第1・1表 試験成績一覧表

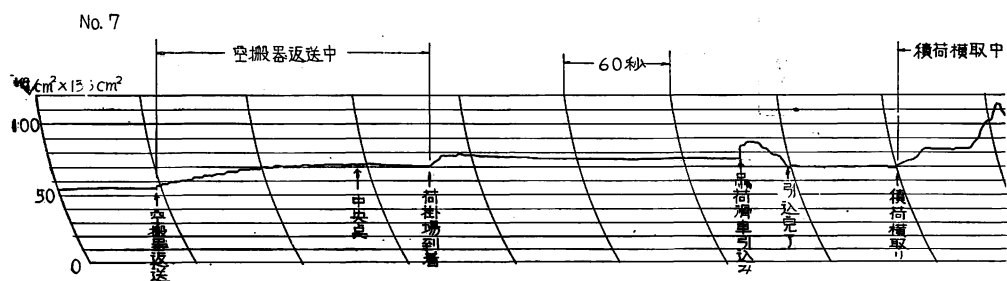
空 搬 器 の 場 合

試験番号 No.	中央点における		荷掛揚における				荷卸場における				試験月日	備 考		
	張 力 kg	垂下量 (m)	位置係数	張 力 (kg)	垂下量 (m)	下方支点 傾 斜 角 (度)	位置係数	張 力 (kg)	垂下量 (m)	下方支点 傾 斜 角 (度)		中央垂下比		
												s/d	s/l	
7	9576	33.336	0.27395	—	27.633	—	0.936	7315	11.031	2°30'	8月30日	0.04286	0.04152	1. 9月2日主索を約 25cm 緩める。 2. 吊荷重量以外で主 索に負荷を与える搬 器その他の重量はつ ぎのとおりである。 搬器 262kg 重錘と吊下滑車 200 kg 荷揚索 200kg 引戻索 (ただし搬器 中央点のとき) 73kg
8	9709	33.648	0.26886	9576	25.632	7°20'	0.938	7448	10.722	2°35'		0.04326	0.04190	
9	9642	33.229	0.24388	10507	25.579	7°10'	〃	7581	10.576	2°45'		0.04272	0.04139	
10	9576	33.648	0.23183	10374	23.969	7°20'	0.940	—	10.359	—		0.04326	0.04190	
11	9775	33.438	0.23509	—	24.912	—	0.935	7847	10.949	2°46'		0.04299	0.04164	
12	9576	33.648	0.22699	10640	24.519	7°32'	〃	7581	11.671	2°58'	8月31日	0.04326	0.04190	
13	9709	〃	0.22519	〃	24.991	7°56'	0.937	7714	10.938	〃		〃	〃	
14	9576	33.541	0.19953	9842	22.735	7°22'	0.936	〃	10.873	3° 5'		0.04312	0.04177	
15	〃	33.648	0.19870	9975	23.257	7°46'	〃	9581	10.591	3°10'		0.04326	0.04190	
16	〃	34.063	0.19786	〃	23.305	7°10'	0.937	7581	10.935	3°24'		0.04379	0.04242	
17	〃	33.541	0.19870	9842	22.782	8° 0'	0.934	〃	11.228	3° 0'		0.04312	0.04177	
18	〃	33.751	0.18043	10374	21.346	7°30'	0.937	8246	10.882	3°50'		0.04339	0.04203	
19	〃	33.857	0.16457	9842	20.183	7°35'	〃	7581	11.068	3°15'		0.04352	0.04216	
20	9709	〃	0.16253	10108	20.443	7°50'	〃	〃	10.924	3°10'		〃	〃	
21	9576	33.751	0.16457	9576	19.713	7°20'	0.938	〃	10.860	3° 0'		0.04339	0.04203	
22	〃	33.857	0.16279	9709	20.299	7°37'	0.934	7714	11.270	3°15'		0.04353	0.04216	
23	〃	33.648	0.16831	9576	19.867	8° 0'	0.935	7448	10.989	3°10'		0.04326	0.04190	
24	9709	33.541	0.17801	9310	19.057	7°15'	0.945	〃	9.761	2°48'	9月1日	0.04312	0.04177	
25	9642	33.648	0.17626	9443	19.305	7°34'	0.937	7847	8.789	3° 4'		0.04326	0.04190	
26	〃	33.541	〃	〃	19.141	7°39'	〃	7581	10.775	3° 0'		0.04312	0.04177	
27	〃	33.648	0.17661	9310	19.116	7°36'	〃	〃	10.816	2°55'		0.04326	0.04190	
28	〃	33.541	0.19270	9576	20.894	7°40'	0.936	〃	10.933	3°10'		0.04312	0.04177	
29	〃	33.648	0.22201	〃	23.457	8° 0'	0.937	7315	〃	2°58'		0.04326	0.04190	
30	〃	〃	0.22131	9842	23.336	7°40'	0.938	7581	10.556	〃		〃	〃	
31	〃	33.751	0.22052	9576	23.537	7°42'	〃	〃	10.757	2°56'		0.04339	0.04203	
32	9709	33.648	0.21973	9709	24.199	8° 0'	0.936	7980	10.964	3° 5'		0.04326	0.04190	
33	9567	33.751	0.22201	9975	23.457	7°35'	〃	7714	10.933	2°44'		0.04339	0.04203	
34	9310	34.687	0.23504	8911	24.622	7°20'	0.934	7315	11.518	3° 0'	9月2日	0.04460	0.04319	
35	9443	〃	0.23355	10108	25.465	7°56'	0.937	7448	11.180	〃		〃	〃	
36	〃	34.793	0.23801	9709	25.034	7°28'	0.939	7581	11.001	〃		0.04473	0.04332	
37	〃	34.687	0.23653	9310	24.978	7°30'	〃	7448	10.828	2°30'		0.04460	0.04319	
38	〃	—	—	9709	—	7°45'	0.938	〃	11.063	3° 0'		—	—	
39	9576	34.587	0.23434	9310	25.110	7°28'	0.935	7315	11.362	2°36'		0.04447	0.04306	

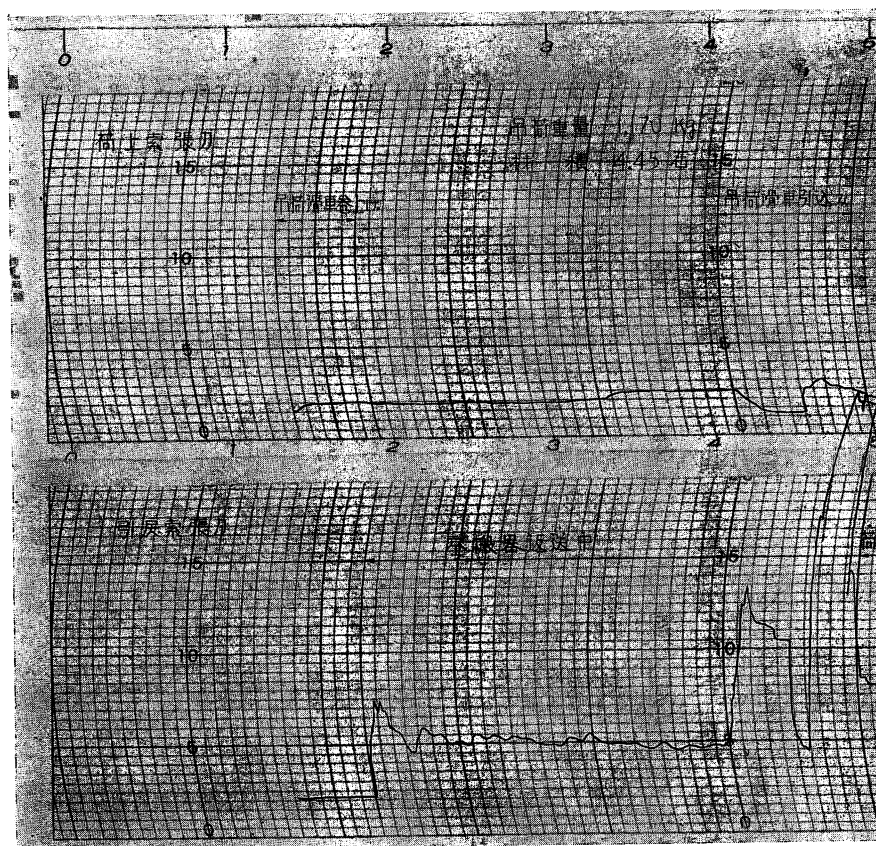
- 9月2日主索を約25cm 緩める。
- 吊荷重量以外で主索に負荷を与える搬器その他の重量はつぎのとおりである。
搬器 262kg
重錘と吊下滑車 200kg
荷揚索 200kg
引戻索 (ただし搬器中央点のとき) 73kg



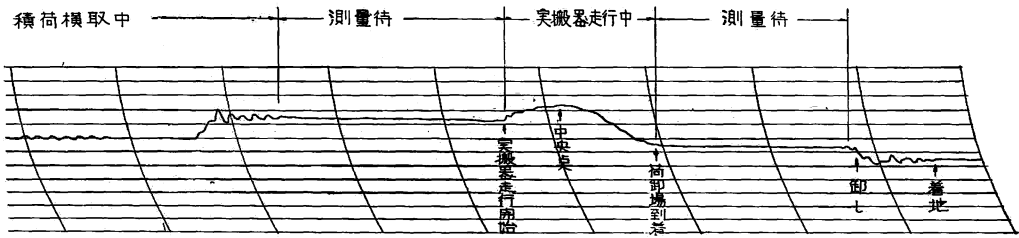
第 7 图 主 索



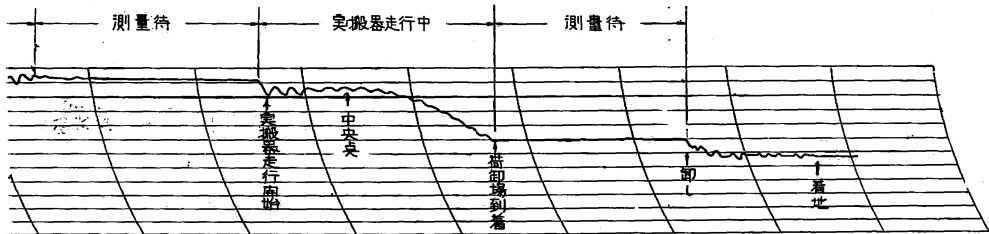
第 8・1 图 主 索



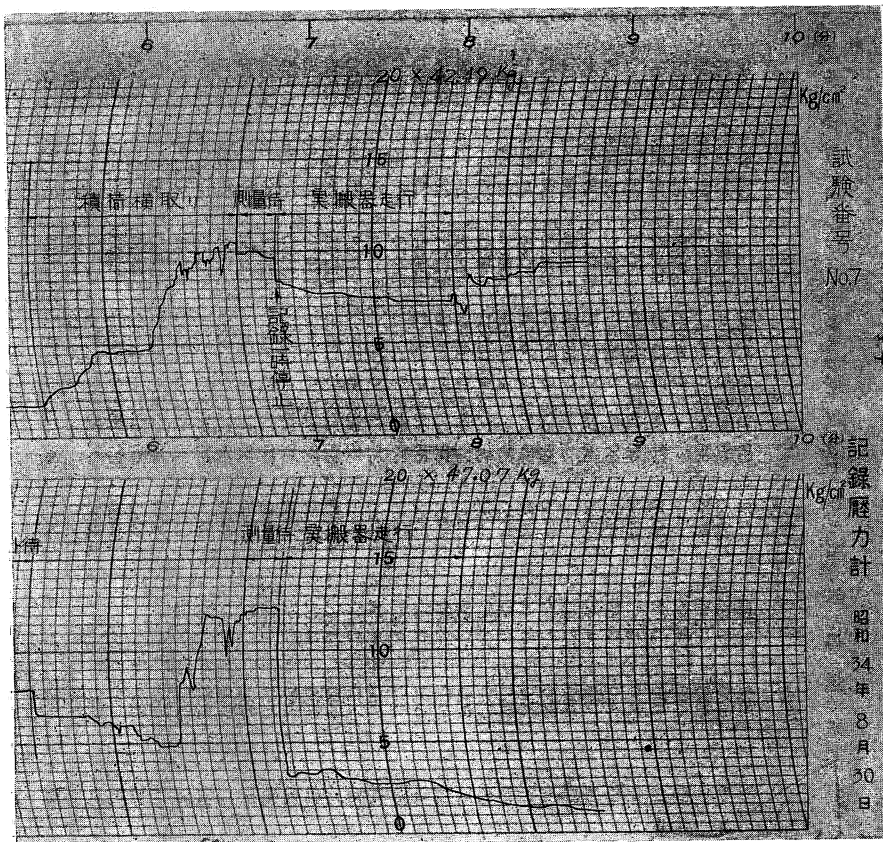
第 8・2 图 作 業 索



張 力



張 力

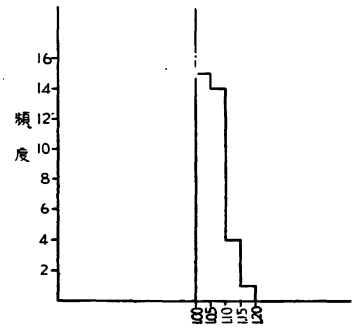
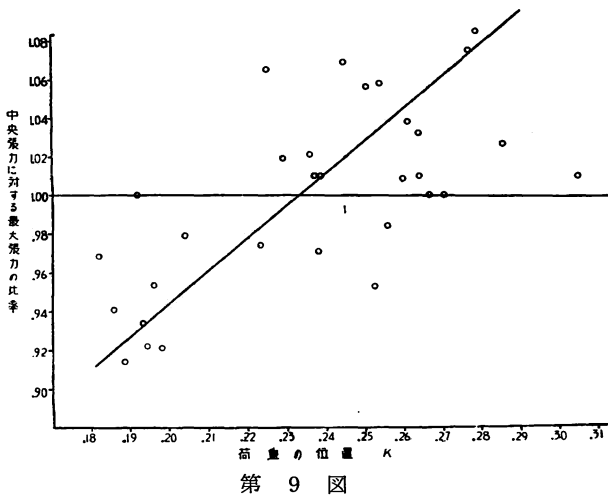


張 力

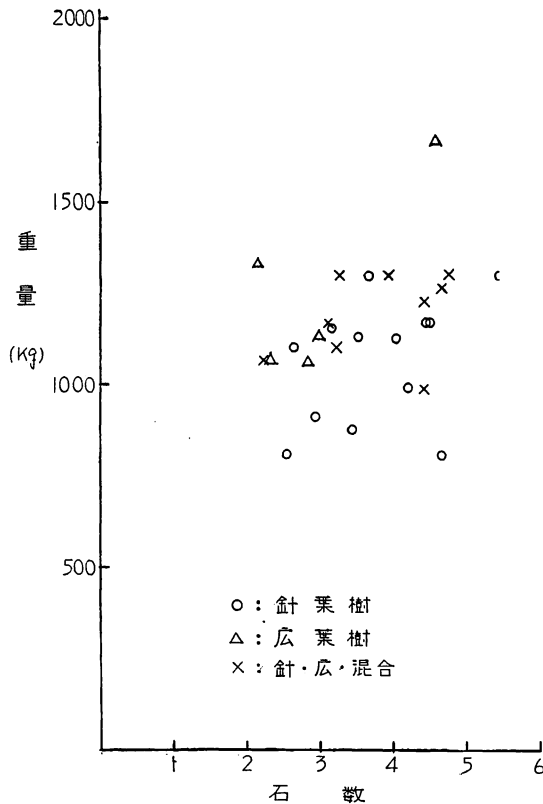
第 1・2 表 試 験 成 績 一 覧 表

実 搬 器 の 場 合

試験番号 No.	吊 荷		中央点における		荷 掛 場 に お け る					荷 卸 場 に お け る					備 考	
	重 量 (kg)	材 積 (石)	張 力 (kg)	垂下量 (m)	位置係数	張力(測 量時) (kg)	垂下量 (m)	最大張力 (kg)	下方支点 傾 斜 角 (度)	位置係数	張力(測 量時) (kg)	垂下量 (m)	最大張力 (kg)	下方支点 傾 斜 角 (度)	中央垂下比	
															s/d	s/l
7	1120	4.45	14231	39.156	0.27863		33.304	15295	—	0.942	9310	12.725		-2°30'	0.05034	0.04871
8	1020	2.83	13965	40.405	0.30494	13300	32.881	14231	7°35'	0.942	9310	13.642		-2°20'	0.05195	0.05032
9	1300	2.13	14763	38.950	0.26654	14231	37.078	14630	8°30'	0.942	9443	13.973	9576	-2°24'	0.05008	0.04975
10	1640	4.65	—	—	0.25583	15029	32.612	15561	8°28'	0.942	9975	10.106	10640	-2°50'	—	—
11	1100	3.16	14098	38.741	0.23132	12433	35.227	15561	8°10'	0.942	9310	13.358	9842	-1°56'	0.04981	0.04825
12	1230	4.67	14364	40.195	0.22519	13566	35.150	15162	8°10'	0.945	9310	13.401	9842	-2°00'	0.05168	0.05005
13	1260	3.69	14231	39.677	0.25047	13832	30.514	15029	8°12'	0.944	9310	13.596		-2°00'	0.05101	0.04941
14	1120	4.45	13566	38.950	0.23808	12901	29.046	13300	8°00'	0.942	9310	13.648		-1°30'	0.05008	0.04851
15	880	2.93	—	—	0.23608	11970	28.141	12900	8°00'	0.938	9177	13.629		-1°20'	—	—
16	1050	3.25	13566	38.638	0.22903	12635	28.925	13832	7°32'	0.941	8911	13.626		-2°10'	0.04968	0.04811
17	1260	5.46	14497	39.780	0.26035	13566	31.221	14630	7°50'	0.940	9576	14.438	9842	-2°26'	0.05115	0.04954
18	1260	4.80	14563	39.677	0.19257	13566	27.245	14497	8°25'	0.942	9576	14.128		-2°00'	0.05101	0.04941
19	1080	3.52	13832	38.326	0.18681	11837	25.210	12236	8°06'	0.942	8911	13.533		-2°00'	0.04928	0.04772
20	800	2.55	13832	37.496	0.18825	11172	23.190	11438	8°23'	0.940	8778	13.004		-0°20'	0.04821	0.04669
21	840	3.47	12901	38.223	0.18186	11571	23.416	12369	8°30'	0.939	8911	13.536		-0°20'	0.04924	0.04760
22	1020	2.25	13566	38.950	0.19813	11837	25.988	12502	8°04'	0.945	10241	14.096	9177	-2°10'	0.05008	0.04850
23	1200	4.42	14231	39.053	0.19332	12635	26.447	13300	8°20'	0.940	9443	14.291	7842	-2°02'	0.05021	0.04863
24	780	4.69	12901	37.287	0.20443	11704	24.194	12635	7°58'	0.934	10241	14.121	9310	-0°52'	0.04794	0.04643
25	1120	3.13	13965	38.950	0.19612	12768	25.482	13300	7°38'	0.937	9310	14.424	9443	-2°00'	0.05008	0.04850
26	940	4.40	13499	38.223	0.18588	12236	24.002	12935	8°04'	0.939	9177	13.761		-1°00'	0.04924	0.04760
27	1080	4.05	13739	38.950	0.19445	11970	25.580	12935	8°22'	0.943	9044	10.309	9576	-2°00'	0.05008	0.04850
28	1260	3.95	14364	39.780	0.22358	13300	27.786	13965	8°00'	0.945	9310	13.572	9709	-2°10'	0.05115	0.04954
29	1020	2.30	13566	38.741	0.24466	12901	29.326	14364	8°02'	0.943	9044	13.106		-1°30'	0.04981	0.04824
30	1080	2.98	13765	38.741	0.23734	13300	29.103	13832	8°04'	0.938	9310	14.033	9576	-1°32'	0.04981	0.04824
31	940	4.21	13100	38.326	0.23880	12901	28.850	12300	8°20'	0.941	8911	13.732		-0°55'	0.04928	0.04773
32	1260	3.30	14231	38.950	0.27725	13433	32.026	15295	8°25'	0.940	9310	13.068		-1°20'	0.05008	0.04851
33	1050	2.66	14031	38.429	0.25262	13034	30.290	13300	8°52'	0.940	9177	13.623		-1°10'	0.04941	0.04785
34	1080		13699	39.053	0.25402	13300	30.977	14497	8°20'	0.942	8911	13.377		-1°30'	0.05021	0.04862
35	1160		13965	40.677	0.26102	13300	31.171	14098	8°04'	0.943	9044	13.203		-1°30'	0.05230	0.05064
36	1120		13965	39.780	0.28569	13300	32.456	14497	7°50'	0.945	8512	13.747		-2°00'	0.05115	0.04952
37	940		13300	38.950	0.27056	12768	31.296	13300	8°14'	0.947	9443	12.931		-2°30'	0.05008	0.04849
38	1050		—	—	0.26443	12901	30.773	13034	7°56'	0.940	8778	14.069		-1°50'	—	—
39	840		12635	38.326	0.26443	12103	30.484	13034	7°58'	0.946	8512	12.478	8645	-1°38'	0.04928	0.04772


 第10図 積荷横取における最大張力
と平均値との比の頻度図

速力が増減し、この作用が影響したものと考えられる。後者は荷卸しの際適当な荷卸し地点を選ぶために吊材を地表すれすれで、いつたん宙吊りする操作によって生じたものである。



第11図 材の重量と石数の関係

1. 場所 東京営林局 平塚経営区世附国有林 121 林班
2. 期間 昭和34・8・29～9・2
3. 樹種 針・ハリモミ, ウラジロモミ, ツガ; 広・ブナ
(約 250 年生天然林で伐採直後のもの)

索をくり出す際に、集材機運転手の制動操作が不均一のために搬器の加

つぎに積荷横取り時の最大張力が実搬器運行中の中央値に対する割合を、横取り地点の位置係数 K との相関図であらわすと第 9 図のとおりになる。データはかなりバラついてはいるが、荷重点の位置が支点から離れるにつれてこの割合は増加する傾向がみられるので、図のように平均線をひくと 0.23 くらいを境にしていることがわかる。したがって $k=0.23$ を越えて中央点寄りで横取り作業が行なわれるときは横取り時の張力が中央値を上回ることがあることを考慮して吊荷重量を軽減する必要がある。また、この横取り時の最大値と平均値との割合は第 10 図のごとく 1.04～1.06 が最も頻度が高かったが、最高 1.20 に達することもある。

なお、本試験は油圧式であるため張力が増加する場合は記録計の針はかなり敏感にふれるが、張力が減少する場合は油の粘着性と油圧筒のピストン摩擦などの関係で油圧の低下に時間的なおくれをとまうため、張力の減少は正確に記録にあらわれず若干高めに示す傾向がある。

また、吊材の石数と重量との関係を図示すると第11図のとおりである。

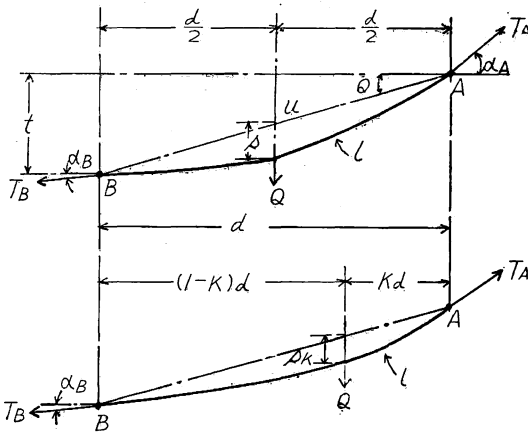
IV 考 察

1. 計算値と実測値との比較

本試験において測定した主索の垂下量ならびに下方支点における主索傾斜角によって算出した計算値と、下方支点近傍において実測した主索張力（以下実測値と称呼する）とを比較して考察を加えるのとおりである。

計算条件

- ① 上下両支点とも支点変位を考えない。
- ② 静学的に取り扱い、かつ引張り強さのみを考える。
- ③ 鋼索の1mあたり重量は JIS の値を基にし、鋼索の伸びと摩耗による重量減を適宜推定してきめる。
- ④ 作業索重量については、荷揚索は主索長相当の重量の半分が、引戻索は搬器から引戻用並滑車までの索重量の半分が主索に負荷すると考える。



第 12 図

- ⑤ 引戻索張力の影響は考えない。

記号 (第12図)

- d : 両支点間の水平距離 (m)
 u : 同斜距離 (m)
 t : 同高低差 (m)
 s : 中央垂下量 (m)
 s_K : 搬器が上方支点より Kd なる点にあるときの主索垂下量 (m)
 K : 位置係数
 l : 負荷時の主索長 (m)
 θ : 両支点間の傾斜角 (度)
 α_A : 上方支点 A の主索の傾斜角 (度)
 α_B : 下方支点 B の同上 (度)

Q : 主索の負荷 (kg)

W : 主索重量 ($=ql$) (kg)

n : 荷重比 ($=Q/W$)

q : 鋼索の1mあたり重量 (kg/m)

T_A : 上方支点 A における主索張力 (kg)

T_B : 下方支点 B における主索張力 (kg)

T/W : 張力比

$T/(W+Q)$ 同上

s_0 : 無負荷索の中央垂下量 (m)

l_0 : 無負荷索の索長 (m)

$S_1 = s/l$, $S_0 = s_0/l_0$, $S_1' = s/d$, $S_0' = s_0/d \cdots \cdots$ 垂下比

T_{A0} : 無負荷索の上方支点 A における主索張力

T_{B0} : 無負荷索の下方支点 B における主索張力

T_m : 負荷索平均張力 ($= \frac{T_A + T_B}{2}$)

T_{m0} : 無負荷索平均張力 ($= \frac{T_{A0} + T_{B0}}{2}$)

E : 鋼索の引張弾性率 (kg/mm²)

A : 鋼索の有効断面積 (mm²)

$\rho = q/A$

T_σ : 鋼索の切断荷重 (kg)

$f = T_\sigma/T_A$, $f_m = T_\sigma/T_m$, $f_{m0} = T_\sigma/T_{m0}$

1) 垂下量による場合

① 算定式

垂曲線式

$$T_B = \frac{W}{2} \left\{ \left(\frac{1}{2S_1} - \frac{t}{l} \right) (1+n) + S_1 - \frac{1}{4S_1} \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

 [付録 (20)₁ 式]

 ただし l は次式により漸近的に求める。

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left\{ 1 + \frac{1}{3(2n+1)^2} \right\} S_1^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

 [付録 (23)₃ 式]

拋物線式

$$T_B = \frac{W}{8S_1'} (1+2n) \left[1 + \left\{ \tan \theta - \frac{1+n}{1+2n} \cdot 4S_1' \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

 ただし $W=ql$ であり、この l は次式により漸近的に求める。

$$\frac{l}{d} = \sec \theta \left\{ 1 + \frac{8}{3} S_1'^2 \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

なお搬器が中央点にない場合は

$$T_B = \frac{\frac{K}{2} (1-K) W}{\frac{s_k}{d}} (1+2n) \left[1 + \left\{ \tan \theta - \frac{1+2Kn}{K(1-K)(1+2n)} \cdot \frac{s_k}{d} \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

② 算出要領

(イ) $q \cdots$ 主索の $1m$ あたり重量は規格によると $2.50kg/m$ であるが、この鋼索は約 3 万石集材したもので、すでに 1 回真中付近で切断し、スプライスして使用しているものであり、かつ下方支点近傍においてもかなりの弾性摩擦を来たしているので、鋼索の重量減を 5% とした。

(ロ) $l \cdots$ (2) 式により求める場合、式の内に未知数である s/l , $W (=ql)$ を含んでいるので、まず $l \div u \times 1.004$ としていつたん l を求め、この l を用いて再び (2) 式により l を求め、 l が変動しなくなるまで計算をくりかえす方法で l を求めた。

(4) 式を用いて l を求める場合も同様であり、両式により求めた数値はほとんど一致する。

(ハ) 搬器が中央点以外の位置にある場合の W は支点における索の移動がないから、中央点の張力計算に用いた W を用いた。

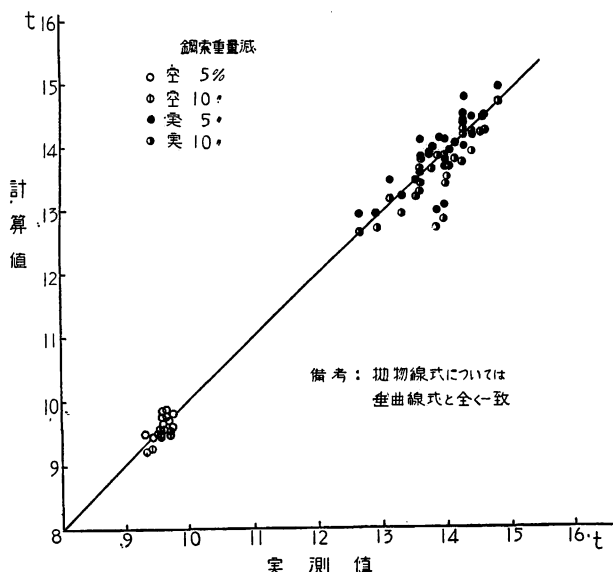
③ 計算値と実測値との相関図ならびに誤差率頻度図

(イ) 中央値の場合 (1) 式 (垂曲線式), (3) 式 (拋物線式) により求めた計算値はその差を認められないほど全く一致する。

計算値と実測値の関係を図示すると第 13・1 図のごとくなり、誤差率の頻度図をつくると第 13・2 図のごとくなる。図よりわかるように計算値が若干 (約 2%) 高目にあらわれているので、鋼索の重量減を 10%

注 1 : 加藤誠平 : 林業用索道設計法 (昭和 34 年 3 月, 金原出版社) p. 61 の (62)_{III} 式に (55)_{III} 式の関係代入すると求められる。

注 2 : 同上 p. 59 の (57)_{III} 式に (55)_{III}, (56)_{III} 式の関係代入すると求められる。

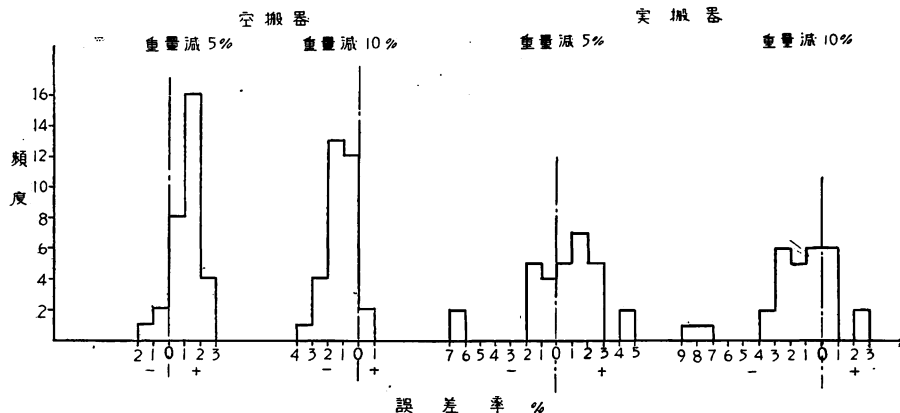


第 13・1 図 搬器が中央点にある場合の垂曲線による計算値と実測値との相関図

としてみると逆に計算値は 2% 低目にあらわれる。このように主索張力の精度は鋼索重量の推定にかなり影響されることがわかる。

以上の結果にもとづき、つぎのような考察を加えた。

算式については、(1) 式は中央垂下比が s/l の形であらわされているため、(3) 式に比べて数値計算が面倒のようであるが、(3) 式も $\sqrt{\quad}$ の項があるので同様面倒である。しかしながら鋼索重量の推定誤差が主索張力に大きく影響するので (3) 式の $\sqrt{\quad}$ の項を近似的にあつかつても主索張力に与える影響はほとんど無視できると考えられるのでつぎのような近似



第 13・2 図 第 13・1 図 の 誤 差 率 頻 度 図

式を提示する。

すなわち (3) 式において

$$T_B = \frac{W}{8S_1'} (1+2n) \left[1 + \left\{ \tan\theta - \frac{1+n}{1+2n} \cdot 4S_1' \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

の { } 内の第 2 項を Δ とおくと

$$T_B = \frac{W}{8S_1'} (1+2n) \left[1 + \left\{ \tan\theta - \Delta \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$[\quad]^{\frac{1}{2}} \text{ の項} = [1 + \tan^2\theta - 2\tan\theta \cdot \Delta + \Delta^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$= [\sec^2\theta - 2\tan\theta \cdot \Delta + \Delta^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \sec\theta [1 + (\Delta^2 \cos^2\theta - 2\Delta \cos\theta \cdot \sin\theta)]^{\frac{1}{2}}$$

() 内は Δ は小さい値であるので微小であり、二項定理で展開した際、第 3 項以下は省略できる。よ

つて

$$\left[\right]^{\frac{1}{2}} \text{の項} \div \sec\theta \left\{ 1 + \frac{1}{2} (A^2 \cos^2\theta - 2A \cos\theta \sin\theta) - \frac{1}{8} (A^2 \cos^2\theta - 2A \cos\theta \sin\theta)^2 \right\}$$

高次の項を省略して

$$\div \sec\theta \left\{ 1 + \frac{1}{2} A^2 \cos^2\theta - A \cos\theta \sin\theta \right\}$$

ここに A は

$$A = \frac{1+n}{1+2n} \cdot 4S_1' \text{ で } n \text{ は普通 } 1 \sim 2, S_1' \text{ は } 0.04 \sim 0.05 \text{ くらいの値をとるから, } n=2, S_1'=0.05$$

とすると $A=0.1$ くらいの値をとる。よつて $\left[\right]$ 内は第2項と第3項が相殺して第1項の1に対してこの影響は1%以下になる。前述のごとく鋼索重量の推定が微妙な点を考慮に入れると、この第2項、第3項は省略できる。よつて T_B は近似式ではあるがつぎのごとくなる。

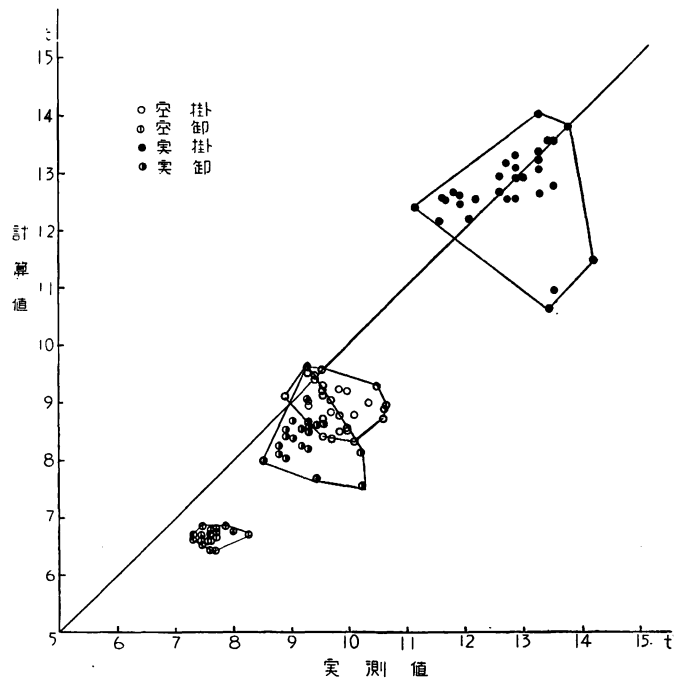
$$T_B \div \frac{W \sec\theta}{8S_1'} (1+2n) \dots\dots\dots (6)$$

また上方張力 T_A と T_B との関係はつぎのとおりであるから、この2式を使うと引張安全率の検定に便利である。

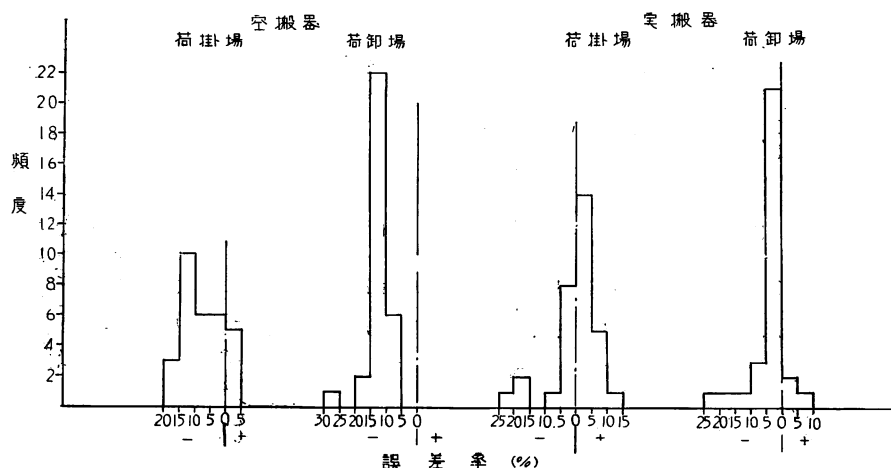
$$T_A = T_B + qt(1+n) \dots\dots\dots (7) \quad [\text{付録 (20) 式}]$$

(c) 荷掛場・荷卸場の場合

鋼索重量減を10%と見込んで(5)式により計算し、第14・1図の相関図と第14・2図の誤差率頻度図を得た。図よりわかることは前項の中央値の場合に比べて、バラツキの多いことである。これは引戻索の引



第14・1図 搬器が荷掛場および荷卸場にある場合の拋物線式による計算値と実測値との相関図
ただし鋼索の重量減を10%とみなす。



第 14.2 図 第 14.1 図の誤差率頻度図

張作用が不均等であつたことを示したものと考えられる。この作業索の引張作用が主索張力におよぼす影響については、2 節において述べる。

2) 傾斜角による場合

① 算定式

$$T_B = \frac{1/2W + KQ}{\cos\alpha_B \cdot \tan\theta - \sin\alpha_B} \dots\dots\dots (8) \text{注}^3$$

② 計算値と実測値との相関図ならびに誤差率頻度図

荷掛場・荷卸場に搬器がある場合の計算値と実測値との相関図は第 15.1 図、誤差率頻度図は第 15.2 図のとおりである。これを第 14.1~2 図と比較すると、垂下量によつた場合は計算値が実測値に対し低目の値をとつたのに反し、傾斜角によつた場合はこれと逆の傾向を示した。この原因はいろいろの測定誤差によつたものと考えられるが、この誤差は最大 $\pm 15\%$ くらいであるから現場的にあまり問題にならないと考える。しかしこの傾斜角の測定は簡便にできることと、精度もかなり良いから、張力検定には最も適した方法と考える。また本試験においては作業中に傾斜角を測定しているが、主索の振動のない時に測定すれば精度はさらに向上するものと考えられる。

2. 作業索の影響

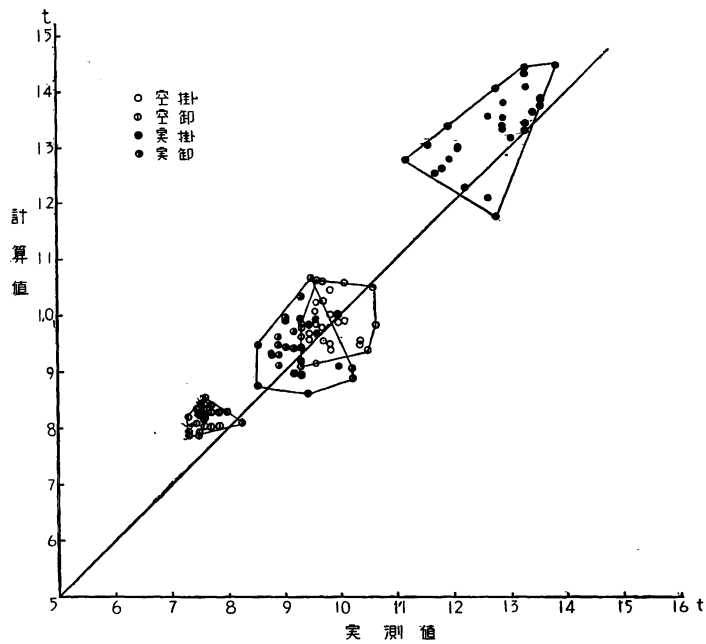
これまで作業索が主索張力におよぼす影響については、その重量の半分が搬器に負荷を与えるという考えできたが、空搬器が荷掛場上に到着して荷掛けする位置まで吊下滑車を引き込む場合、あるいは積荷を搬器近くまで巻き上げる場合は引戻索がいろいろの角度から吊下滑車を引張るために前記のごとき単純なとりあつかいはできないはずである。このことは前節において荷掛場上における計算値が実測値に対して過少になつたり、あるいは逆に過大の傾向をみせたりしたことによつてもうなずける。よつて作業索張力が主索張力におよぼす影響について静力学的解析を行なつた。

第 16.1 図において、支点 A , B に架設された主索の上方支点寄りの点 C において荷を吊り上げた状

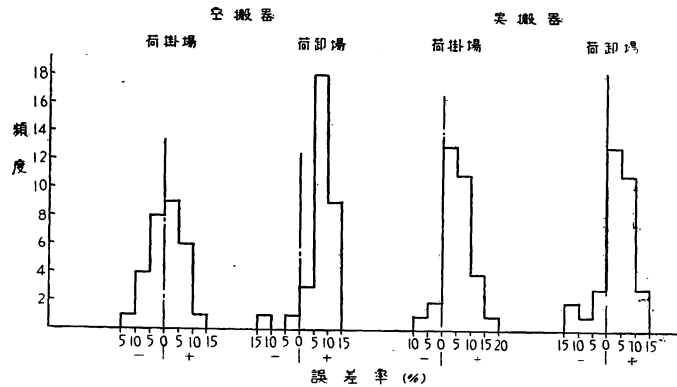
注 3: 第 12 図において B 点における A 点に関するモーメント零の条件をとると

$$T_B(\cos\alpha_B \cdot \tan\theta - \sin\alpha_B) = \frac{1}{2}W + KQ$$

これより (8) 式は導かれる。



第 15・1 図 搬器が荷掛場および荷卸場にある場合の支点傾斜角の式による計算値と実測値との相関図 ただし鋼索重量減を 10% とみなす。



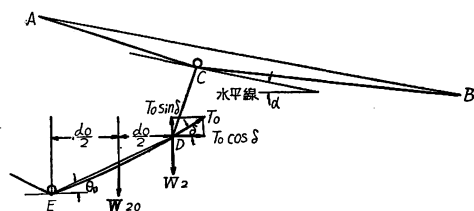
第 15・2 図 第 15・1 図の誤差率頻度図

態で搬器が静止しているとする。この時の各点における力を考えると、吊下滑車 D 点においては鉛直方向に W_2 、引戻索の張力 T_0 が δ 方向に、 W_2 と T_0 の合力 R が γ 方向に働いている。これより D 点における平衡条件は

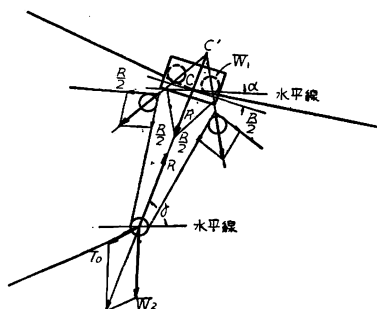
$$\begin{cases} R \cos \gamma = T_0 \cos \delta & \dots\dots\dots (9) \\ R \sin \gamma - T_0 \sin \delta = W_2 & \dots\dots\dots (10) \end{cases}$$

ただし W_2 は吊下滑車と積荷重量の合計である。

荷重点 C においては、第 16・2 図のごとく吊下滑車のところで R は 2 分され、搬器滑車にはそれぞれ $R/2$ が働くから、この $R/2$ によつて力の平衡四辺形を作るとその 2 つの合力は R の延長線上の点 C' において交わり、この 2 つの合力によりふたたび力の平衡四辺形を作ると、その合力は力の平衡条件より R に等



第 16・1 図



第 16・2 図

しい。よつて C 点において静止の条件を考えると、搬器重量 W_1 が切線傾斜角 α に沿つて自重走行しようとする力

$$W_1(\sin \alpha - \mu_0 \cos \alpha)$$

(ただし μ_0 は搬器の走行抵抗係数)

と、これに対して R は反対方向に

$$R \cos(\alpha + \gamma) + \mu_0 R \sin(\alpha + \gamma)$$

が働くから、これより静止の条件は

$$W_1(\sin \alpha - \mu_0 \cos \alpha) = R \{ \cos(\alpha + \gamma) + \mu_0 \sin(\alpha + \gamma) \} \quad \dots\dots\dots (11)$$

また $D-E$ 間では第 16・1 図のごとく引戻索の自重 $q_2 l_{20} (= W_{20})$ とする) が鉛直方向に、引戻索の引張力 T_0 が δ 方向に働くから、 E 点に関するモーメント零の条件より

$$\frac{W_{20}}{2} = T_0(\sin \delta - \cos \delta \cdot \tan \theta_0) \quad \dots\dots\dots (12)$$

以上 (9)～(12) 式より未知数 R , T_0 , γ , δ の関係を求めるとつぎのとおりである。

(11) 式を分解して $\cos \alpha$ で割ると

$$W_1(\tan \alpha - \mu_0) = R \{ \cos \gamma - \sin \gamma \tan \alpha + \mu_0(\sin \gamma + \cos \gamma \tan \alpha) \}$$

上式に (9), (10) 式の関係代入して T_0 について整理すると

$$(W_1 + W_2)(\tan \alpha - \mu_0) = T_0 \cos \delta \{ 1 - \tan \delta \tan \alpha + \mu_0(\tan \delta + \tan \alpha) \}$$

(12) 式を上式に代入して $\tan \delta$ について解くと

$$\tan \delta = \frac{1}{2 \frac{W_1 + W_2}{W_{20}} + 1} \left(\frac{1 + \mu_0 \tan \alpha}{\tan \alpha - \mu_0} + 2 \frac{W_1 + W_2}{W_{20}} \tan \theta_0 \right) \quad \dots\dots\dots (13)$$

つぎに $\tan \gamma$ を求める。

(9) 式を (10) 式で割ると

$$T_0 \cos \delta = \frac{W_2}{\tan \gamma - \tan \delta} \quad \dots\dots\dots (14)$$

上式に (12) 式の関係代入して

$$\tan \gamma = \left(\frac{2 W_2}{W_{20}} + 1 \right) \tan \delta - \frac{2 W_2}{W_{20}} \tan \theta_0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

搬器に対する負荷は $R \sin \gamma$ であるから、これについて求める。

(14) 式に (9) 式を代入すると

$$R \cos \gamma = \frac{W_2}{\tan \gamma - \tan \delta}$$

両辺に $\tan \gamma$ を乗じると

$$R \sin \gamma = \frac{W_2}{1 - \frac{\tan \delta}{\tan \gamma}}$$

しかるに (15) 式より

$$\frac{\tan \delta}{\tan \gamma} = \frac{1 + \frac{2W_2 \tan \theta_0}{W_{20} \tan \gamma}}{\frac{2W_2}{W_{20}} + 1}$$

この関係を上式に代入して

$$R \sin \gamma = W_2 \frac{1 + \frac{W_{20}}{2W_2} \frac{\tan \theta_0}{\tan \gamma}}{1 - \frac{\tan \theta_0}{\tan \gamma}} \dots \dots \dots (16)$$

上式は作業索張力が主索におよぼす負荷を求める一般式である。式よりわかるように、関係する因子は $\theta_0, \gamma, W_2, W_{20}$ であるが、本試験においては測量地点の関係から γ の測定ができなかつたので推定値を用いて $R \sin \gamma$ を算出し、これを用いて主索張力を求めると、さきに計算した (作業索重量の半分が主索に負荷を与えると考えた) 場合よりも実測値に近づいた。これについては今後さらに現場試験を行ない究明しようと考えている。

V 試験結果の現場への応用

1. 負荷索の中央垂下比 (s/d) と張力比 (T_B/W) との関係

本試験結果の解析に用いた拋物線式 (3) は $T_B/W, s/d, n (=Q/W), \theta$ の関係式で θ を常数にすると 3 因子の単純な関係式であるから、3 因子の関係を図表にすると第 17 図のごとくなる。ただし $\theta = 15^\circ$ の場合である。

本図は 2 つの因子の値が与えられると残りの 1 因子の値が図上で簡単に求められるので、設計や張力検定に用いると有効である。

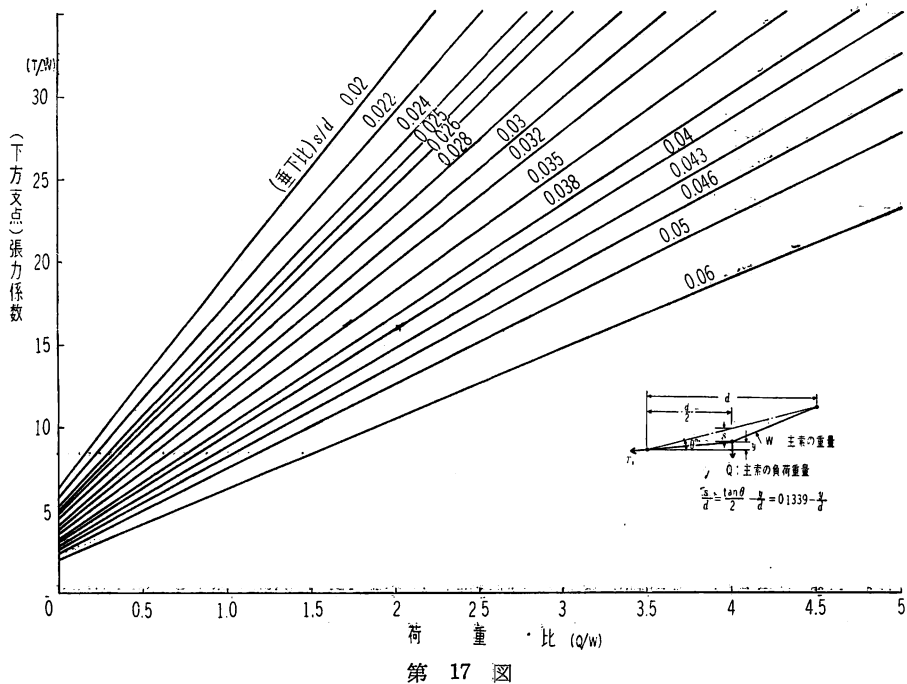
なお本図は T_B/W について示してあるから、引張安全率を求めるときは前述の (7) 式により T_A を求める手順があることに留意する必要がある。

2. 支点における主索の傾斜角と張力比 ($\frac{T}{W+Q}$) との関係

(8) 式より、 $K=1/2$ の場合は

$$\frac{T_B}{W+Q} = \frac{1}{2(\cos \alpha_B \cdot \tan \theta - \sin \alpha_B)} \dots \dots \dots (8)_1$$

上式は $T_B/(W+Q), \alpha_B, \theta$ の関係式であるので、これより α_B, θ を変えた場合の $T_B/(W+Q)$ を図表にまとめると第 18・1 図のごとくなる。ゆえに現場において α_B と θ を測定すれば $T_B/(W+Q)$ の値が図表から求められるから、 W と Q を推定すると簡単に T_B は求まる。同様にして上方張力の場合も次式より第 18・2 図が得られる。



第 17 図

$$\frac{T_A}{W+Q} = \frac{1}{2(\sin\alpha_A - \cos\alpha_A \cdot \tan\theta)} \dots\dots\dots (8)_2$$

3. 鋼索の弾性伸びを考慮に入れて各種因子を推定する算定式

現場において、よくつぎのようなことが問題になる。

- (イ) 空搬器が負荷されている主索に平均引張安全率をたとえば3にとつた場合、どのくらいの荷まで吊ることが許されるか。
- (ロ) 無負荷索に引張安全率をたとえば3にしたとき、いくら荷重まで吊ることが許されるか。
- (ハ) 負荷時の引張安全率・荷重比・垂下比が設計の時にきまつて、この条件になるように主索を張るとき、無負荷索の垂下比をいくらにしたらよいか。
- (ニ) 無負荷索にある負荷を与えたとき、垂下比はいくらになるか。
- (ホ) 無負荷索にある負荷を与えたとき、張力はいくらになるか。

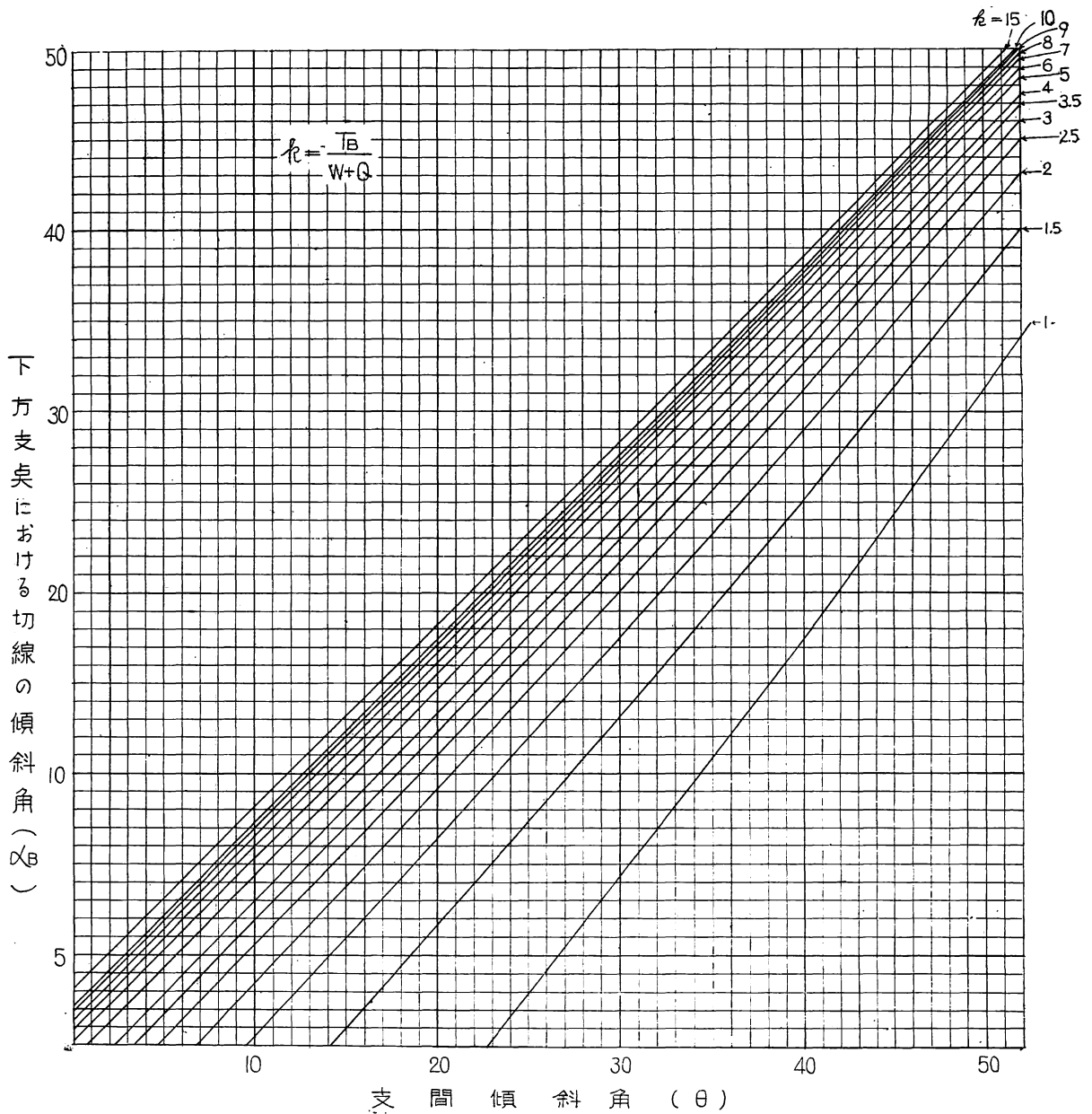
以上のような問題の解法として著者らはつぎのような解法を試みた。すなわち

無負荷索および負荷索に関する索長、索張力の式を鋼索の引張弾性率の概念によつて関係づけ、代数的に許容荷重比、垂下比などを求めた。

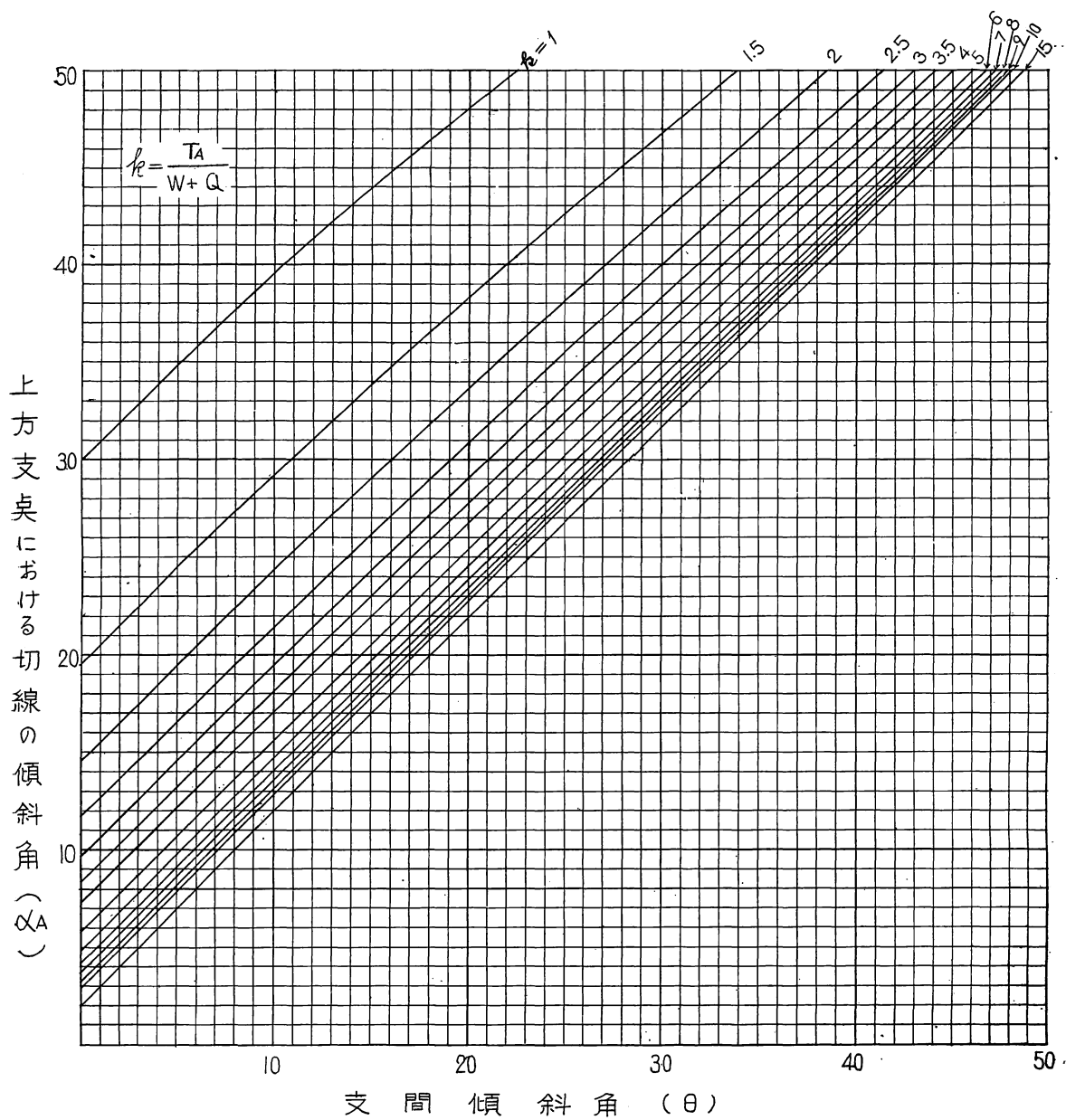
以下(イ)～(ホ)において述べた場合の算定式を垂曲線式、拋物線式の双方についてそれぞれ求め、(イ)項については本試験データを用いて精度を検討したほか、(ロ)～(ホ)項のための実験結果を付録Ⅱで述べた。

1) 空搬器が負荷されている場合の許容荷重比

鋼索を引張試験機にかけて引張力と伸びの関係を自記させると、第19図のごとき曲線図が得られる。この曲線は破断荷重のおおむね 1/4 から 1/2 ぐらいの範囲内においてはほぼ直線を示すが、現場において使用されている張力範囲もおおむねこの直線区間にはいるから、この張力範囲内においては、この傾斜角



第 18.1 図 支点における接線の傾斜角と張力比 k の関係

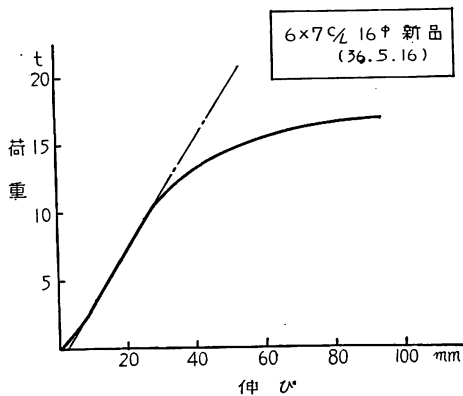


第18.2図 支点における接線の傾斜角と張力比 k の関係

を知れば張力の増減に応じた鋼索長の伸縮を推定することができる。しかして、この曲線を応力と伸び率との関係になおすと、この割合 (引張弾性率 (E) という) は鋼索の直径に関係なく、ほぼ一定の値をとるから、この性質を利用すると、空搬器が負荷されている状態から実搬器が負荷されて、ある張力に達するまでの応力増加に対する鋼索の伸び率は求められ、したがって実搬器負荷時の索長も求められる。しかして負荷索長および負荷時の張力は垂下比と荷重比の関係式であるから、この関係式から垂下比を消去すると許容荷重比は求められる。

ただし、 E は鋼索の構成と使用度により第 2 表のごとく異なる。これについてはまたあとで触れることとして、一応ある一定の値をもつとして論を進める。

関係式はつぎのとおりである。ただし空搬器関係のものは添字 1 を付し、実搬器関係には 2 を付す。



第19図 鋼索引張破断試験実例図
(試料長 295cm)

第 2 表 各種鋼索の引張弾性率標準値表⁷⁾

鋼 索 の 構 成		引張弾性率	
記 号	撚 り	E_1	E_2
丸 鋼 棒	—	2.1	2.1
7 本線スパイラル	—	1.55	1.85
19 " "	—	1.45	1.75
37 " "	—	1.35	1.65
6 × 7 {	LZ	1.00	1.35
	OZ	0.95	1.30
6 × 12 {	OZ	0.70	1.00
	LZ	0.90	1.25
6 × 19 {	OZS	0.85	1.20
	OZ	0.75	1.05
6 × 24	OZ	0.75	1.05
6 × 30	OZS	0.80	1.05
6 × 37	OZS	0.75	1.05
6 × 61	OZS	0.75	1.05
6 × F (Δ + 7)	LZ	1.00	1.04
以下省略			

備 考

1. 添字は 1, 2 はそれぞれ新品および相当期間使用した鋼索を意味する。
2. 単位 $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$$l_1 = d \sqrt{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2}\right) 4S_1^2} \dots\dots\dots (a)$$

[付録 I, (23) 式]

$$l_2 = d \sqrt{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_2^2}\right) 4S_2^2} \dots\dots\dots (b)$$

$$\text{ただし } x_1 = 2n_1 + 1$$

$$\frac{T_{m1}}{W} = \frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \dots\dots\dots (c) \text{ 注}^1$$

[付録 I, (20) 2 式]

$$\frac{T_{m2}}{W} = \frac{x_2}{8S_2} + \frac{S_2}{2} \dots\dots\dots (d)$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{T_{m2} - T_{m1}}{EA} + 1 \dots\dots\dots (e) \text{ 注}^{2,3}$$

ここに空搬器側の l_1 , T_{m1}/W は S_1 , x_1 が測定してあるから既知の値である。

(a), (b) 式より

$$\frac{l_2}{l_1} = \sqrt{\frac{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_2^2}\right) 4S_2^2}{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2}\right) 4S_1^2}}$$

上式を (e) 式に代入して S_2^2 について解くと

$$S_2^2 = \frac{a_1}{4 \left(1 + \frac{1}{3x_2^2}\right)}$$

$$\text{ただし } a_1 = \left(\frac{T_{m2} - T_{m1}}{EA} + 1\right)^2$$

$$\times \left\{ \sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2}\right) 4S_1^2 \right\} - \sec^2 \theta$$

(d) 式を x_2 について解くと

$$x_2 = 8 \frac{T_{m2}}{W} S_2 - 4S_2^2$$

上式に S_2^2 の関係を代入すると

$$x_2 = 4 \frac{T_{m2}}{W} \sqrt{\frac{a_1}{1 + \frac{1}{3x_2^2}}} \left(1 - \frac{1}{4 \frac{T_{m2}}{W} \sqrt{\frac{a_1}{1 + \frac{1}{3x_2^2}}}} \right)$$

上式中、 a_1 は通常 0.010 前後、 x_2 は 2～3 くらいの値をとり、また T_{m2}/W は 10 くらいの値をとるから、[] 内の第 2 項は第 1 項の 1 に比べて微小となり省略できるから、近似的に

$$x_2 = 4 \frac{T_{m2}}{W} \sqrt{\frac{a_1}{1 + \frac{1}{3x_2^2}}} \dots\dots\dots (17)$$

ここに a_1 はつぎのごとくして求めると数値計算が容易である。

$$\textcircled{1} \quad \frac{T_{m2} - T_{m1}}{EA} = \frac{1}{E} \frac{T_{\sigma}/f_{m2} - T_{\sigma}/f_{m1}}{q/\rho} = \frac{\rho}{E} \frac{T_{\sigma}}{q} \left(\frac{1}{f_{m2}} - \frac{1}{f_{m1}} \right) \dots\dots\dots (17)_1$$

ここに T_{σ}/q は鋼索の構成、種別により異なる値をもつが、同一構成、種別の鋼索については直径のいかにかわらず、ほとんど同じ値をとる(下表参照)。

また ρ/E については、 ρ は q/A であり T_{σ}/q 同様鋼索の構成によつて異なるが、同一構成のものについては、直径のいかにかわらずほとんど同じ値をとるので、これを算術平均すると 6×7 鋼索の ρ は

6×7 2 種鋼索の T_{σ}/q 表 0.00927 となる。

直径 6×7 2種	T_{σ} (t)	q (kg/m)	T_{σ}/q
6	2.18	0.133	16391
8	3.88	0.237	16371
10	6.06	0.370	16378
12	8.72	0.533	16360
14	11.8	0.725	16276
16	15.5	0.947	16367
18	19.6	1.20	16333
20	24.2	1.48	16351
22	29.3	1.79	16369
24	34.9	2.13	16385
26	40.9	2.50	16360
28	47.5	2.90	16379
30	54.5	3.33	16366
32	62.0	3.79	16359
34	70.0	4.28	16355
36	78.5	4.79	16388
38	87.6	5.35	16374
平均			16362

$$\textcircled{2} \quad 1/f_{m1}$$

$$\frac{T_{m1}}{W} = \frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2}, \text{ また } \frac{T_{m1}}{W} = \frac{T_{\sigma}/f_{m1}}{ql_1} = \frac{T_{\sigma}/q}{l_1} \cdot \frac{1}{f_{m1}}$$

$$\therefore \frac{1}{f_{m1}} = \frac{l_1}{T_{\sigma}/q} \left(\frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \right) \dots\dots\dots (17)_2$$

$$\textcircled{3} \quad l_1 \dots s_1, \theta, d \text{ を測量により求め、} x_1 \text{ は } Q \text{ を秤量して } Q/W \text{ を求め } x_1 = 2 \frac{Q}{W} + 1 \text{ より算出し、(1) 式により } l_1 \text{ は求められる。}$$

6×7 および 6×19 鋼索の T_{σ}/q 表

種別 成	1 種	2 種	3 種
6×7	15387	16362	17373
6×19	14156	15072	15969

注：ここにあげる q は無張力時の値であるので、負荷時の q は当然これより小さい値をとるが、その差は 0.001～前後の微小なものであるので、JIS に掲げた値をとつた。

注 1：両支点は固定されていると考えているので、主索重量は変わらない。よつて共通の W を用いた。

注 2：鋼索断面積 A は、伸び率が $\frac{1}{1000}$ 位の値であるから、その変化率はさらに小さくなり、 A の変化はないものとしても影響はほとんどないので共通にした。数値計算においては計算断面積をとつた。

注 3：平均張力を用いた理由：

上方支点と下方支点の張力関係は

$$\frac{T_A}{W} = \frac{T_B}{W} + \frac{t}{l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) \dots\dots\dots [\text{付録 I, (20)}_3 \text{ 式}]$$

であり、両支点間において鋼索張力は逐次変化するから、その伸縮率も主索全長にわたつて変化する。ゆえに索の平均張力で索の伸縮を考えることにした。

④ $S_1 \cdots S_1$ を測量によらないで支点接線傾斜角により求めるときは次式により算出する。

$$\begin{aligned}
 S_1^2 &= \frac{\sqrt{\sec^4 \theta + \frac{x_1^2 + 1/3}{(n+1)^2} (\tan \theta - \tan \alpha_B)^2 - \sec^2 \theta}}{8 \left(1 + \frac{1}{3x_1^2}\right)} \\
 &= \frac{\sqrt{\sec^4 \theta + \frac{x_1^2 + 1/3}{(n+1)^2} (\tan \alpha_A - \tan \theta)^2 - \sec^2 \theta}}{8 \left(1 + \frac{1}{3x_1^2}\right)} \dots\dots\dots (17)_3
 \end{aligned}$$

注 4

⑤ $\frac{T_{m2}}{W}$

両支点は固定されているから、主索重量は空搬器負荷時も実搬器負荷時も変わらない。よつて、 $W = q_1 l_1$ と書ける (ただし q_1 は空搬器負荷時の鋼索の 1 m あたり重量)。

$$\text{ゆえに } T_{m2}/W = T_{m2}/q_1 l_1 = \frac{T_{m2}}{q_1} / l_1 f_{m2}$$

と書き改められ、各因子はそれぞれ既知であるから T_{m2}/W も求められる。

注 4 :

$$\begin{aligned}
 \frac{s}{d} &= \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \cdot \frac{1+2n}{1+n} \quad \text{または} \quad \frac{\tan \alpha_A - \tan \theta}{4} \cdot \frac{1+2n}{1+n} \quad 6) \\
 \frac{l}{d} &= \sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right) S^2}
 \end{aligned}$$

両式を辺辺割ると

$$\frac{s}{d} \times \frac{d}{l} = \frac{\frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \cdot \frac{1+2n}{1+n}}{\sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right) S^2}}$$

$$\text{よつて } \sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right) S^2} = \frac{1}{S} \cdot \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \cdot \frac{1+2n}{1+n}$$

両辺を 2 乗して S について整頓すると

$$4 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right) S^4 + \sec^2 \theta \cdot S^2 - \left(\frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \cdot \frac{1+2n}{1+n}\right)^2 = 0$$

S^2 について解くと

$$S^2 = \frac{-\sec^2 \theta + \sqrt{\sec^4 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right) \left\{(\tan \theta - \tan \alpha_B) \frac{1+2n}{1+n}\right\}^2}}{8 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right)}$$

$1+2n=x$ であるから書き改めると

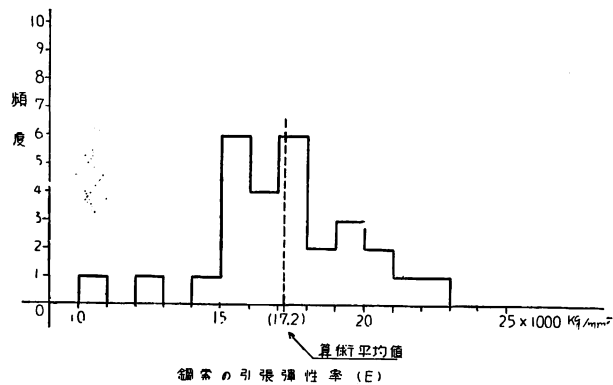
$$= \frac{\sqrt{\sec^4 \theta + \frac{x^2 + 1/3}{(1+n)^2} (\tan \theta - \tan \alpha_B)^2 - \sec^2 \theta}}{8 \left(1 + \frac{1}{3x^2}\right)}$$

なお q_1 は JIS の値をとつて
数値計算した。

試 験 結 果

① E について

許容荷重を推定するにあたり、
 E をいくらにとるかが問題である
ので、本試験のデータより E を
算出した。すなわち、本試験は各
試験番号ごとに空搬器と実搬器が
中央点を通過する時の主索の垂下
量と下方支点張力を測定している



第20図 E の 頻 度 図

ので、各試験番号ごとに中央垂下量より空搬器と実搬器の場合の索長を (2) 式で求め、また下方支点における実測張力より平均張力を算出して、これより鋼索の引張弾性率 (E) を求めた。これを頻度図にまめると第 20 図のごとくなる。図からわかるように、 E はかなりの範囲にバラつくが、15,000~18,000 kg/mm² の範囲がもつとも頻度が高い。この鋼索は考察の 1-1)-②-(i) p. 147 のところで述べたごとく、かなり疲労した鋼索であるので、このように E が高くなつたと推量される。よつて E を頻度の高いところで 16,000kg/mm² として計算することにする。

② 許容荷重比の誤差率算出要領

(17) 式の a_1 にある、 T_{m1} 、 T_{m2} は下方支点における実測値 T_{B1} 、 T_{B2} を用いて次式により算出することにした。

$$T_{m1} = T_{B1} + \frac{t}{l_1} \left(\frac{Q_1 + W}{2} \right) \quad \text{付録 I, (20) 式}$$

ただし Q_1 = 空搬器時の主索の負荷、 l_1 = 空搬器時の主索長

$$T_{m2} = T_{B2} + \frac{t}{l_2} \left(\frac{Q_2 + W}{2} \right)$$

ただし Q_2 = 実搬器時の主索の負荷、 l_2 = 実搬器時の主索長

以上の T_{m1} 、 T_{m2} を用いて、 E を 16,000kg/mm² にしたときの許容荷重 n_2 を (17) 式により求め、データとの誤差率を求めた。

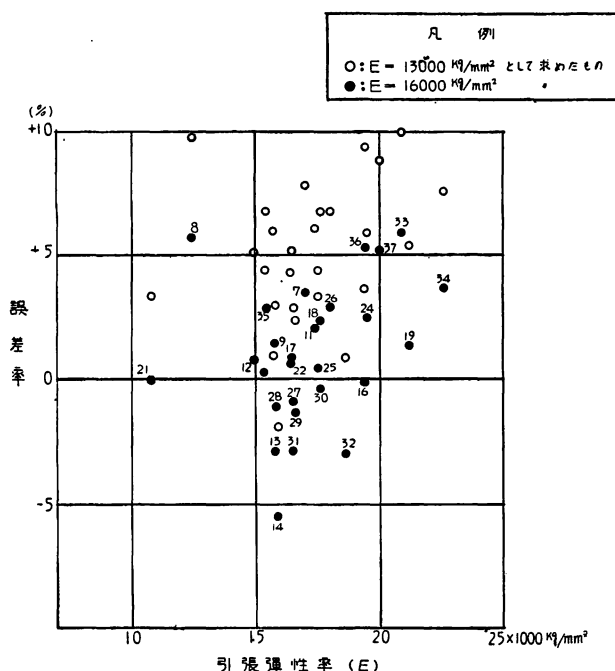
また (17) 式は $\sqrt{\quad}$ の内に未知数 x_2 を含んでいるので、最初 x_1 より若干大きめの値を適当にきめていつたん (17) 式により x_2 を求め、つぎにこの x_2 を用いて再度計算をくりかえして x_2 が一致するまで計算を行なう。

③ 誤 差 率

誤差率をさきに計算で求めた E との相関図にまめると第21図の●印のごとくなる。また E を 13,000 kg/mm² とすると同図○印のごとくなり、 E が 16,000kg/mm² の場合より誤差率は総体的に 5 % ぐらい高めに得られた。

図よりわかることは

④ E と誤差率の間には相関はないようである。これは、わずか数日間における試験であるから、 E


 第21図 荷重比 (Q/W) の推定誤差率と計算で求めた E との相関図

に大きな変化があるとは考えられないし、当然のことといえよう。

⑨ また、その誤差率は●印において最高 +6%、最低 -5.5% で、誤差率 0 の線に対してはほぼ均等に分布しており、推定誤差は E の推定がうまくいった場合でも ±6% ということになる。

⑩ E の値については、仮りに推定誤差が $3,000 \text{ kg/mm}^2$ あつたとしても許容荷重比の推定誤差は 5% ぐらいですむから、おおよそ $10,000 \sim 13,000 \text{ kg/mm}^2$ ぐらいの範囲にとれば現場的には問題はなさそうである。

⑪ 引張安全率の検討

(17) 式により得られた許容荷重比は平均引張安全率によつて求め

たものであるから、引張安全率は当然これより小さくなる。この傾向は支間傾斜角が大きくなるほど著しくなるから、次式で一応最低引張安全率 2.7 を割っていないかどうかを確かめておく必要がある。

$$\frac{T_A}{W} = \frac{T_m}{W} + \frac{t}{2l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) \text{ なる関係より}$$

$$\frac{T_\sigma/f}{ql} = \frac{T_\sigma/f_m}{ql} + \frac{t}{2l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right)$$

と書き改められるから、両辺に $\frac{l}{T_\sigma/q}$ を乗じて

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_m} + \frac{t}{2T_\sigma/q} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) \dots\dots\dots (17)$$

2) 無負荷索の許容荷重比

a) 垂曲線式による場合

前項と全く同じ手法により、無負荷索の許容荷重比はその垂下比と平均引張安全率を与えることによつて求められる。

関係式はつぎのとおりである。

$$\begin{cases} l_0 = d \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2} \\ l_1 = d \sqrt{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) 4S_1^2} \\ \frac{T_{m0}}{W} = \frac{1}{8S_0} + \frac{S_0}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{T_{m1}}{W} = \frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \\ \frac{l_1}{l_0} = \frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + 1 \end{cases}$$

$$x_1 = 4 \frac{T_{m1}}{W} \sqrt{\frac{a_{II}}{1 + \frac{1}{3x_1^2}}} \dots\dots\dots (18)_a$$

$$\text{ただし } a_{II} = \left(\frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + 1 \right)^2 \left(\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2 \right) - \sec^2 \theta$$

a_{II} はつぎのごとくして求めると 数値計算が容易である。

$$\textcircled{1} \frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} = \frac{\rho}{E} \frac{T_{\sigma}}{q} \left(\frac{1}{f_{m1}} - \frac{1}{f_{m0}} \right)$$

$$\textcircled{2} \frac{1}{f_{m0}} = \frac{l_0}{T_{\sigma}/q} \left(\frac{1}{8S_0} + \frac{S_0}{2} \right)$$

$\textcircled{3} l_0$ は上記の式で算出する。

$$\textcircled{4} S_0^2 = \frac{3}{32} \sec^2 \theta \left\{ \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left(\frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{\sec^2 \theta} \right)^2} - 1 \right\} \quad \text{注 } ^5$$

$$\begin{aligned} \text{または} \\ = \frac{3}{32} \sec^2 \theta \left\{ \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left(\frac{\tan \alpha_A - \tan \theta}{\sec^2 \theta} \right)^2} - 1 \right\} \end{aligned}$$

$$\textcircled{5} \frac{T_{m1}}{W} = \frac{T_{\sigma}/q}{l_0 f_{m1}}$$

ここに S_0 は θ と α_A または α_B の函数であり、これを図表にすると第22・1図のごとくなる。現場においてハンドレベルのような傾斜計で θ と α_A (または α_B) を測定すると S_0 は図上で求められる。

また S_0 と Q/W の関係を図化すると第22・2図のごとくなる。ただし $\theta = 0^\circ$ として求めてあるから、 θ が 15° 以上にもなると数%低目の値を示すことになる。

b) 拋物線式による場合

以上は垂曲線式による場合であるが、拋物線式を用いても全く同じ手法で無負荷索の許容荷重比は求められる。

関係式はつぎのとおりである。

$$\text{注 } 5 \quad \frac{s_0}{d} = \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \text{ または } \frac{\tan \alpha_A - \tan \theta}{4} \quad 6)$$

$$\frac{l_0}{d} = \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2} \quad [\text{付録 I, (34) 式}]$$

両式を辺辺割ると

$$S_0 = \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4 \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2}}$$

$$\text{または } \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2} = \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4 S_0}$$

両辺を2乗し S_0^2 について解くと得られる。

$$\left\{ \begin{aligned} l_0 &= d \sec \theta \left(1 + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2 \right) \\ l_1 &= d \sec \theta \left\{ 1 + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cdot S_1'^2 \right\} \\ \frac{T_{m0}}{W} &= \frac{\sec \theta}{8S_0'} \\ \frac{T_{m1}}{W} &= \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + 8 \left(\frac{1+n}{1+2n} \right)^2 \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 \right\} \quad \text{注 6} \\ \frac{l_1}{l_0} &= \frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + 1 \end{aligned} \right.$$

① l_0, l_1 の式を用いて

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{l_0} &= \frac{1 + \frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta \cdot S_1'^2}{1 + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2} \\ &= 1 + \frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 - \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2 \\ &= \frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + 1 \end{aligned}$$

これより

$$S_1'^2 = \frac{\frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2}{\frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta}$$

② $\frac{T_{m1}}{W}$ の式の右辺 { } 内の第 2 項は

S_1' は現場でもつとも多く使われるのは 0.03~0.05 くらいの値であり, n は 1~2 くらいの値をとるから, { } 内の 1 に比べて微小である。よつて近似的に

$$\frac{T_{m1}}{W} \div \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \quad \text{とおく。}$$

これより

$$S_1' = \frac{1+2n}{8T_{m1}/W} \sec \theta$$

注 6: IV-1-1) -③-④において述べたごとく

$$\frac{T_A}{W} = \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + \frac{1}{2} \Delta^2 \cos^4 \theta + \Delta \cos \theta \cdot \Delta \sin \theta \right\}$$

$$\frac{T_B}{W} = \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + \frac{1}{2} \Delta^2 \cos^4 \theta - \Delta \cos \theta \cdot \Delta \sin \theta \right\}$$

$$\therefore \frac{T_A + T_B}{2W} = \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + \frac{1}{2} \Delta^2 \cos^4 \theta \right\}$$

しかるに $\Delta = \frac{1+n}{1+2n} \cdot 4S_1'$ であるから

$$\frac{T_A + T_B}{2W} = \frac{T_{m1}}{W} = \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + 8 \left(\frac{1+n}{1+2n} \right)^2 \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 \right\}$$

③この式をさきに求めた $S_1'^2$ の式に代入すると

$$\left(\frac{1+2n}{8T_{m1}/W}\right)^2 \sec^2 \theta \cdot \frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta = \frac{T_{m1}-T_{m0}}{EA} + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2$$

上式を n について解くと

$$n = \sqrt{a'_{II} - \frac{1}{12}} - \frac{1}{2} \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{ただし } a'_{II} = 8 \left(\frac{T_{m1}}{W} \sec \theta \right)^2 \left(\frac{T_{m1}-T_{m0}}{EA} + \frac{8}{3} S_0'^2 \cos^4 \theta \right)$$

a'_{II} はつぎのごとくして求めると数値計算が容易である。

$$\frac{T_{m1}-T_{m0}}{EA} = \frac{\rho}{E} \cdot \frac{T_{\sigma}}{q} \left(\frac{1}{f_{m1}} - \frac{1}{f_{m0}} \right)$$

$$\frac{1}{f_{m0}} = \frac{l_0}{T_{\sigma}/q} \cdot \frac{\sec \theta}{8S_0'}$$

$$\frac{T_{m1}}{W} = \frac{T_{\sigma}}{q} / l_0 f_{m1}$$

$$S_0' = \frac{\tan \theta - \tan \alpha_B}{4} \text{ または } \frac{\tan \alpha_A - \tan \theta}{4}$$

3) 無負荷索の垂下比の推定

設計に際し、負荷時の引張安全率、垂下比、荷重比をきめると、かかる状態にするための無負荷索の垂下比が必要になる。この垂下比はつぎのようにして求める。

a) 垂曲線式による場合

関係式は 2) - a) 項の場合と同じである。

なお T_{m1}/W は設計において T_A/W , Q/W などが定まっているから次式により算出される。

$$\frac{T_{m1}}{W} = \frac{T_A}{W} - \frac{t}{2l_1} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right)$$

つぎに

$$\frac{l_1}{l_0} = \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 \right) - \frac{T_{m0}}{EA} \text{ と書きかえ、これに } T_{m0} \text{ の関係を代入すると}$$

$$\frac{l_1}{l_0} = \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 \right) - \frac{W}{EA} \left(\frac{1}{8S_0} + \frac{S_0}{2} \right)$$

また l_0 の式を用いて

$$\frac{l_1}{l_0} = \frac{l_1}{d \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} S_0^2}} = \frac{l_1}{d \sec \theta \sqrt{1 + \frac{16}{3} \cos^2 \theta \cdot S_0^2}}$$

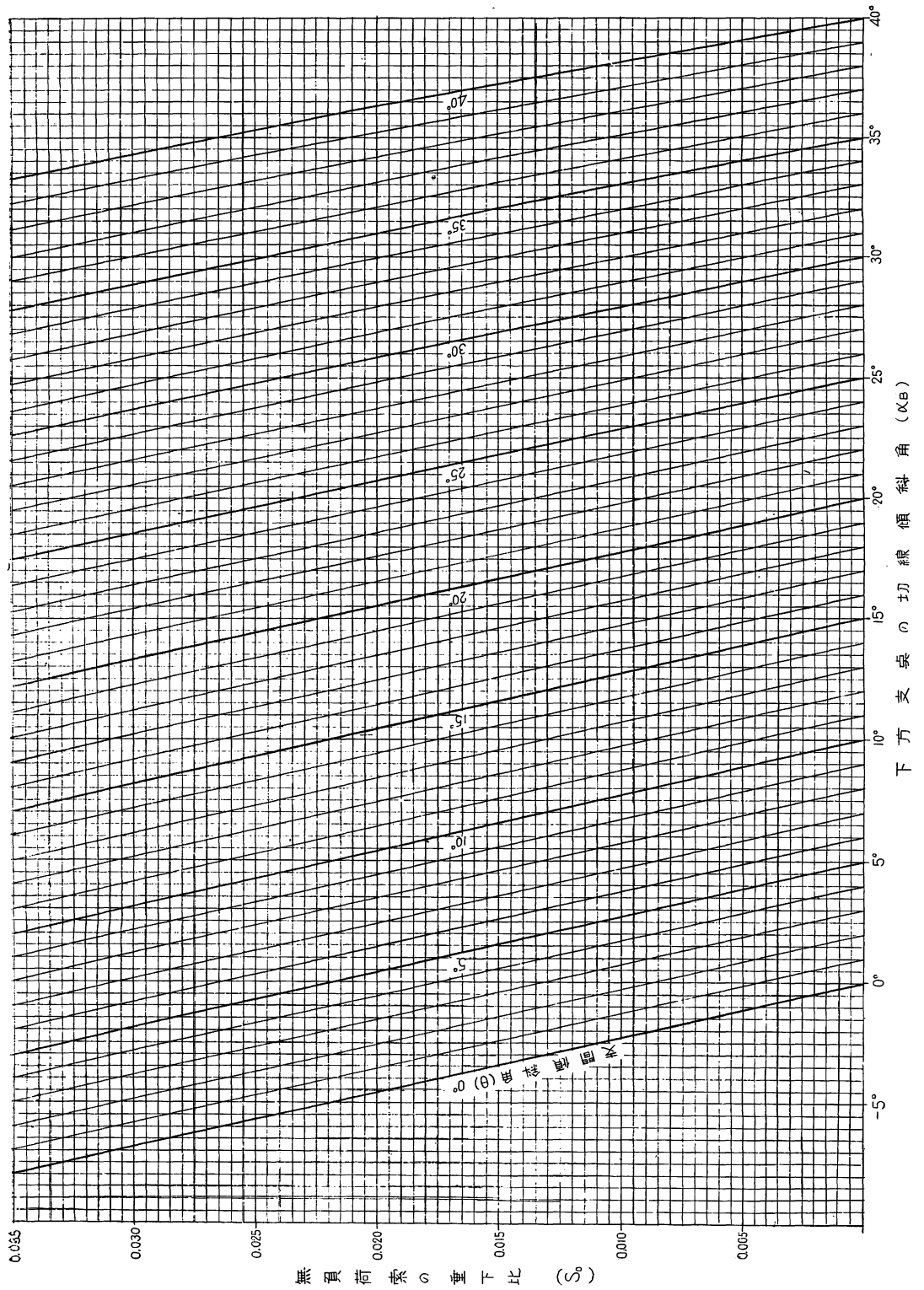
ここに S_0 は普通現場においては 0.02~0.03 位の小さい値であるから近似的に

$$\frac{l_1}{l_0} \div \frac{l_1}{u} \left(1 - \frac{8}{3} \cos^2 \theta \cdot S_0^2 \right) \text{ (ここに } d \sec \theta = u \text{)}$$

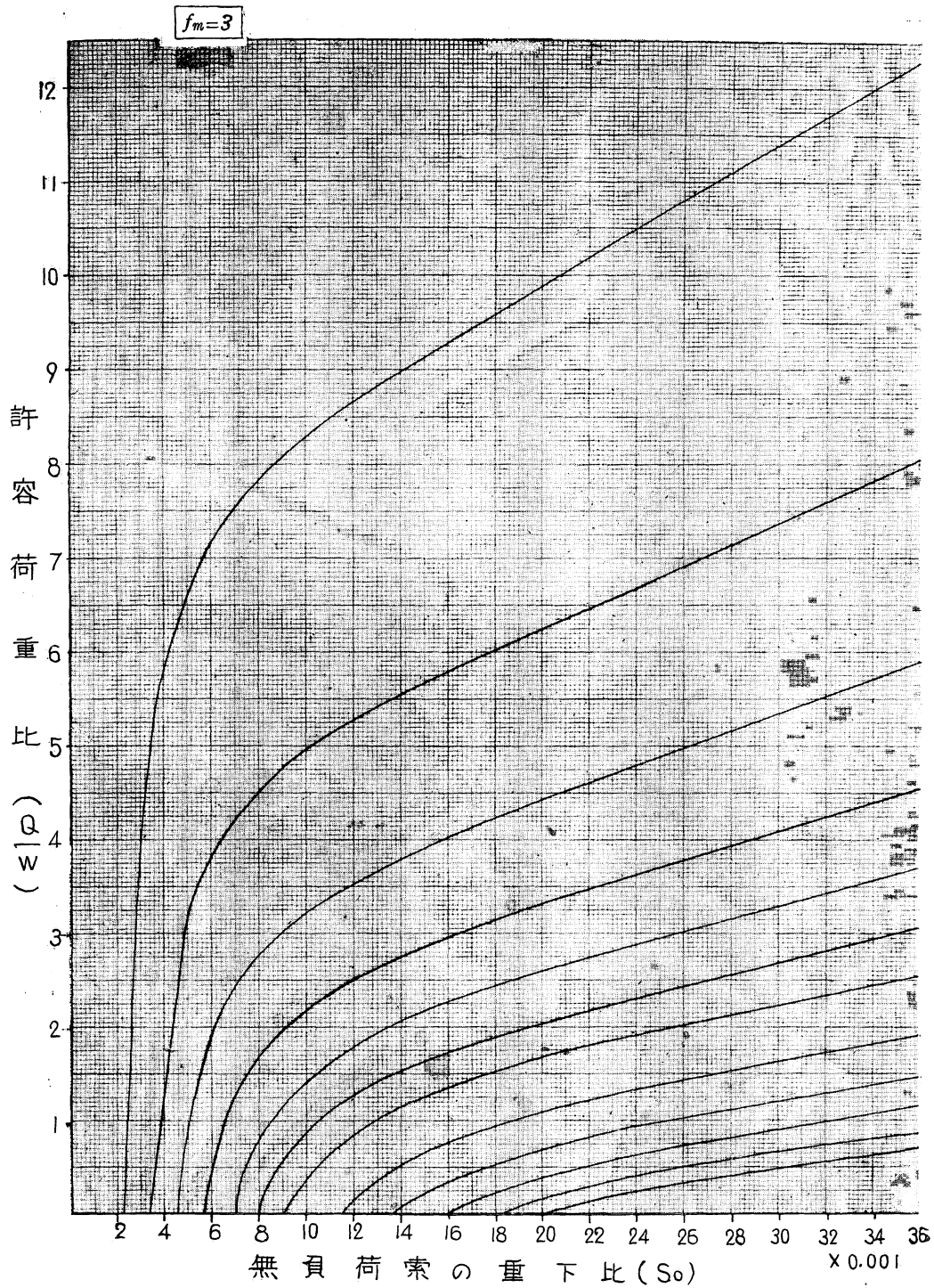
以上 l_1/l_0 の関係から

$$\frac{l_1}{u} \left(1 - \frac{8}{3} \cos^2 \theta \cdot S_0^2 \right) = \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 \right) - \frac{W}{EA} \left(\frac{1}{8S_0} + \frac{S_0}{2} \right)$$

両辺に $1/S_0$ を乗じて $1/S_0$ について整頓すると



第 22.1 図 無負荷索の垂下比と支点接線傾斜角との関係



第 22.2 図 無負荷索の垂下比と平均引張安全率を定めた場合の許容荷重比

$$\frac{1}{8} \frac{W}{EA} \left(\frac{1}{S_0} \right)^2 - \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 - \frac{l_1}{u} \right) \left(\frac{1}{S_0} \right) - \left(\frac{8}{3} \frac{l_1}{u} \cos^2 \theta \cdot S_0 - \frac{W}{2EA} \right) = 0$$

ここに $\frac{W}{EA} = \frac{ql_1}{Eq/\rho} = \frac{\rho}{E} l_1$ と書き改め、両辺に $8 \frac{E}{\rho} \frac{1}{l_1}$ を乗じると

$$\left(\frac{1}{S_0} \right)^2 - 8 \left\{ \frac{E}{\rho} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{u} \right) + \frac{T_{m1}}{W} \right\} \left(\frac{1}{S_0} \right) - \left(\frac{64}{3} \frac{E}{\rho} \frac{\cos^2 \theta}{u} \cdot S_0 - 4 \right) = 0$$

これを $1/S_0$ について解くと

$$\frac{1}{S_0} = 4 \left\{ Z_1 + \sqrt{Z_1^2 + \frac{4}{3} \frac{E}{\rho} \frac{\cos^2 \theta}{u} \cdot S_0 - \frac{1}{4}} \right\} \dots\dots\dots (19)_a$$

$$\text{ただし } Z_1 = \frac{E}{\rho} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{u} \right) + \frac{T_{m1}}{W}$$

本式は $\sqrt{\quad}$ 内の第 2 項に未知数 S_0 を含んでいるので、数値計算にあたっては最初設計の時決めた S_1 より若干小さい値 (たとえば S_1 が 0.05 のときは S_0 を 0.03 位にとる) を用いていつたん S_0 を求め、この S_0 と前に仮定した値との平均値を用いて再度 S_0 を求める。この操作を数回くりかえして両者が一致するまで計算を行なう。

b) 拋物線式による場合

関係式は 2) - b) 項の場合と同様であり、誘導法も垂曲線の場合と同様である。

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{l_0} &= \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 \right) - \frac{W \sec \theta}{EA 8 S_0'} \\ \frac{l_1}{l_0} &= \frac{l_1}{d \sec \theta \left(1 + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2 \right)} \div \frac{l_1}{u} \left(1 - \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2 \right) \\ \therefore \frac{l_1}{u} \left(1 - \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot S_0'^2 \right) &= \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 \right) - \frac{W \sec \theta}{EA 8 S_0'} \end{aligned}$$

両辺に $1/S_0'$ を乗じて $1/S_0'$ について整頓すると

$$\frac{\sec \theta}{8} \frac{W}{EA} \left(\frac{1}{S_0'} \right)^2 - \left(\frac{T_{m1}}{EA} + 1 - \frac{l_1}{u} \right) \left(\frac{1}{S_0'} \right) - \frac{8}{3} \frac{l_1}{u} \cos^4 \theta \cdot S_0' = 0$$

$$\frac{W}{EA} = \frac{\rho}{E} l_1 \text{ と書き改め、両辺に } 8 \frac{E}{\rho} \frac{\cos \theta}{l_1} \text{ を乗じると}$$

$$\left(\frac{1}{S_0'} \right)^2 - 8 \left\{ \frac{E}{\rho} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{u} \right) + \frac{T_{m1}}{W} \right\} \cos \theta \cdot \frac{1}{S_0'} - \frac{64}{3} \frac{E}{\rho} \frac{\cos^5 \theta}{u} \cdot S_0' = 0$$

$$\text{ゆえに } \frac{1}{S_0'} = 4 \cos \theta \left\{ Z_1 + \sqrt{Z_1^2 + \frac{4}{3} \frac{E}{\rho} \frac{\cos^3 \theta}{u} \cdot S_0'} \right\} \dots\dots\dots (19)_b$$

$$\text{ただし } Z_1 = \frac{E}{\rho} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{u} \right) + \frac{T_{m1}}{W}$$

4) 無負荷索に負荷を与えたときの垂下比

ある垂下比の無負荷索に、ある負荷を与えたときの垂下比はつぎのようにして求める。

a) 垂曲線式による場合

関係式は 2) - a) 項の場合と同様である。なお S_0 は既知であるから、 l_0 、 T_{m0} は算出されていて既知数である。

$$\frac{l_1}{l_0} = \frac{d \sqrt{\sec^2 \theta + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) 4S_1^2}}{l_0} = \frac{u}{l_0} \sqrt{1 + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) \cos^2 \theta \cdot 4S_1^2}$$

$$\begin{aligned} & \div \frac{u}{l_0} \left\{ 1 + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) \cos^2 \theta \cdot 2S_1^2 \right\} \\ \frac{l_1}{l_0} &= \frac{T_{m1} - T_{m0}}{EA} + 1 = \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \frac{T_{m1}}{W} \cdot \frac{\rho}{E} l_0 \\ &= \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \left(\frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \right) \cdot \frac{\rho}{E} l_0 \end{aligned}$$

これより

$$\frac{u}{l_0} \left\{ 1 + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) \cos^2 \theta \cdot 2S_1^2 \right\} = \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \frac{\rho}{E} l_0 \left(\frac{x_1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \right)$$

両辺に $\frac{E}{\rho} \cdot \frac{8}{l_0} \cdot \frac{1}{x_1} \cdot \frac{1}{S_1}$ を乗じて $(1/S_1)$ について整頓すると

$$\left(\frac{1}{S_1} \right)^2 - 8 \frac{E}{\rho l_0 x_1} \left(\frac{u}{l_0} + \frac{T_{m0}}{EA} - 1 \right) \left(\frac{1}{S_1} \right) - \left\{ \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) \frac{E}{\rho} \cdot \frac{16 \cos^2 \theta \cdot u}{l_0^2 x_1} S_1 - \frac{4}{x_1} \right\} = 0$$

$$\text{ゆえに } \frac{1}{S_1} = 4 \left\{ Z_2 + \sqrt{Z_2^2 + \left(1 + \frac{1}{3x_1^2} \right) \frac{E}{\rho} \frac{\cos^2 \theta \cdot u}{l_0^2 x_1} S_1 - \frac{1}{4x_1}} \right\} \dots\dots\dots (20)_a$$

$$\text{ただし } Z_2 = \frac{E}{\rho l_0 x_1} \left(\frac{u}{l_0} + \frac{T_{m0}}{EA} - 1 \right)$$

b) 拋物線式による場合

関係式は 2) - b) 項の場合と同じである。

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{l_0} &= \frac{u}{l_0} \left\{ 1 + \frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 \right\} \\ \frac{l_1}{l_0} &= \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \frac{\rho l_0}{E} \frac{T_{m1}}{W} \div \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \frac{\rho l_0}{E} \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \\ \therefore \frac{u}{l_0} \left\{ 1 + \frac{8}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^2} \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 \right\} &= \left(1 - \frac{T_{m0}}{EA} \right) + \frac{\rho l_0}{E} \frac{1+2n}{8S_1'} \sec \theta \end{aligned}$$

両辺に $\frac{E}{\rho l_0} \frac{8 \cos \theta}{1+2n} \frac{1}{S_1'}$ を乗じて $(1/S_1')$ について整頓すると

$$\left(\frac{1}{S_1'} \right)^2 - 8 \frac{E}{\rho l_0} \frac{\cos \theta}{1+2n} \left(\frac{u}{l_0} + \frac{T_{m0}}{EA} - 1 \right) \left(\frac{1}{S_1'} \right) - \frac{64}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^3} \frac{Ed}{\rho l_0^2} \cos^3 \theta \cdot S_1' = 0$$

$$\text{ゆえに } \frac{1}{S_1'} = 4 \cos \theta \left[Z_2 + \sqrt{Z_2^2 + \frac{4}{3} \frac{1+3n+3n^2}{(1+2n)^3} \frac{Ed}{\rho l_0^2} \cos^3 \theta \cdot S_1'} \right] \dots\dots\dots (20)_b$$

$$\text{ただし } Z_2 = \frac{E}{\rho l_0} \frac{1}{1+2n} \left(\frac{u}{l_0} + \frac{T_{m0}}{EA} - 1 \right)$$

5) 無負荷索に負荷を与えたときの張力比

ある垂下比の無負荷索に、ある負荷を与えたときの上方支点張力比は前 4) 項において求めた垂下比を用いて次式により算出する。

a) 垂 曲 線 式

$$\begin{aligned} \frac{T_{m1}}{W} &= \frac{2n+1}{8S_1} + \frac{S_1}{2} \\ \frac{T_A}{W} &= \frac{T_{m1}}{W} + \frac{t}{2l} (n+1) \div \frac{T_{m1}}{W} + \frac{\sin \theta}{2} (n+1) \end{aligned}$$

b) 拋 物 線 式

$$\frac{T_{m1}}{W} = \frac{2n+1}{8S_1'} \sec \theta \left\{ 1 + 8 \left(\frac{1+n}{1+2n} \right)^2 \cos^4 \theta \cdot S_1'^2 \right\}$$

$$\frac{T_A}{W} \div \frac{T_{m1}}{W} + \frac{\sin \theta}{2} (n+1)$$

VI 総 括

架空索の主索張力を現場において直接測定した例はほとんどなかったが、今回著者らは集材機運材作業中の主索の実張力を自記測定し、つぎのような結果を得た。

1. 集運材作業中の主索張力は実搬器が中央点を通過するとき最大値を示す場合もあるが、吊荷を横取りする時の張力が前者を上廻る場合もかなりあった。この傾向は横取り地点がスパンの 20% くらいの点を境にして中央点に近よる程この傾向が強くなり、最大値は中央値の 20% 増しの値を示した。ゆえに集材機運材作業においては横取り地点がスパンの 20% より中央点に近寄るときは少なくとも最大張力の 80% でもつて許容荷重を求める配慮が必要である。

2. 中央垂下量による算式 [垂曲線式は(1)式、拋物線式は(3)式]によつて主索張力を求めると、その値はほとんど一致する。ただし、中央垂下比はつぎの範囲である。

$$s/l = 0.0415 \sim 0.0506$$

$$s/d = 0.0428 \sim 0.0523$$

計算値と実測値とを比較すると、主索重量の推定がかなり敏感に影響し、JIS の値をそのまま用いると実測値に対し約 5% くらい過大になった。本試験における主索はかなり使用したもので、鋼索表面の摩耗度もひどかったので JIS の値に対して重量減を 5% と 10% として実測値と比較すると、前者は約 1~2% 過大に、後者は約 1~2% 過小になった。このように主索張力を算出する場合鋼索重量の推定精度がかなり影響するが、JIS の値を用いれば安全側になる。

3. 支点における主索傾斜角によつて主索張力を求める算式 [(8) 式] は式も簡単であり、角度測定も容易であるから、張力検定を行なうのに適している。またこの方法による精度も搬器を中央点において静止の状態で行なえば垂下量による場合と同等の精度をあげられると考える。

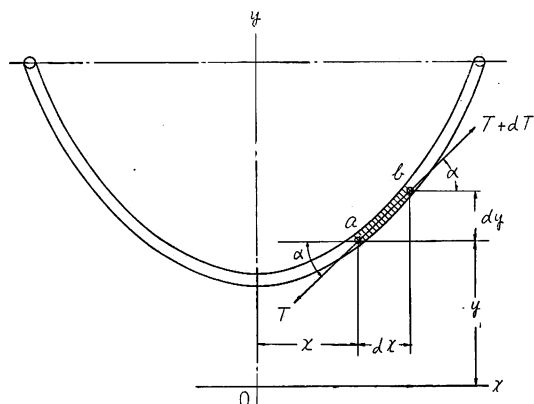
4. 鋼索の弾性伸びを考慮して各種の条件から垂下比、許容荷重比、平均張力を求める算定式は十分現場に適用できる。ただし鋼索の引張弾性率 E は本試験においては $16,000 \text{ kg/mm}^2$ くらいの値をとつたが、文献などからみると $10,000 \sim 13,500 \text{ kg/mm}^2$ くらいの値をとるようであり、これについては今後さらに検討したいと考えている。しかしながら E の見込み違いが $3,000 \text{ kg/mm}^2$ くらいでは数%の誤差しかともなわないから、現場的には E は $10,000 \sim 13,000 \text{ kg/mm}^2$ の範囲にとればよいと考える。

5. 以上の研究結果にもとづき、架空索運材の主索の設計、架設ならびに張力検定のための算定法を提示し、これに必要なかつ便利と考えられる図表を作製した。

付録 I 垂曲線式の誘導

は し が き

本試験のデータ解析に用いた垂曲線式は、故苦名孝太郎氏によつて誘導された垂曲線理論⁵⁾をさらに変形誘導したものであるが、一般読者の理解を助けるために、これらの誘導経過のほかに、垂曲線理論についても述べた。



付 録 第 1 図

においてある曲線を形作る。ゆえにこの平面内において、 AB の垂直二等分線になるような垂直線 oy を y 軸に、そして適当な水平線 ox を軸に定めると、ひもの形作る曲線は $y=f(x)$ のごとき形をとる。ひもの一部分 ab を考え、 a の座標は (x, y) 、 b の座標は $(x+dx, y+dy)$ であるとすれば、微小部分 ab の長さ ds は

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \dots\dots\dots (1)$$

によつて与えられる。

いま、ひもの小部分 ab を切り離し、その両端にはそれぞれ T 、 $T+dT$ なる張力が切線方向に働いているものとしても、つり合いは成り立つはずである。ただしこの部分には外力として、 ab 部分のひもの目方すなわち qds が垂直方向に下向きに加えられている。

さて力学上の原則によれば、諸力の作用を受けているある物体がつり合っているときは、それらの力の x 方向の分力の総和、 y 方向の分力の総和はそれぞれ 0 でなくてはならない。すなわち張力 T を水平分力 H と垂直分力 V とに分けて考える。この H と V とが点 a に働く。点 b には $H+dH$ なる水平分力と $V+dV$ なる垂直分力（その合成は $T+dT$ である）が働く。そして小部分 ab に働くすべての水平力の和を 0 に等しいとおくときは

$$-H + (H+dH) = 0$$

同様に垂直分力に対しては

$$-V + (V+dV) - qds = 0$$

となる。この第 1 の式は $dH=0$ すなわち H が場所によつて変わらないことを示す。ゆえに $H=H_0$ と書くことにする。第 2 の式からは

1. 垂 曲 線⁵⁾

第 1 図に示すごとく、1 本のひもが同一水平線上にある 2 点 A, B で支えられてつり下げられている。このひもは自由に曲げられ、ひもの単位長さあたり重量は一樣で、 q なる目方をもつものとする。このひもがつり下げられている以上、そのおのおのの断面積には張力 T が働くが、ひもの各点においてその値を異にする。

ひもがつり合っているときは、ひもは二つの支持点 A, B をとおる一つの垂直平面内

$$dV = q ds$$

$$\text{あるいは } \frac{dV}{dx} = q \frac{ds}{dx} \dots\dots\dots (2)$$

が得られる。しかるにひもの張力の働くのは T なる大きさで、ひもの曲線の切線方向になつてゐるから、 V と H との比は dy と dx との比に等しい。

$$\text{ゆえに } V/H = V/H_0 = dy/dx$$

$$\text{したがつて } V = H_0 \frac{dy}{dx}$$

となる。これを (2) 式に代入すると

$$H_0 \frac{d^2y}{dx^2} = q \frac{ds}{dx} [(1) \text{式を用いて}] = q \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

となる。便宜上 $dy/dx = p$ とおくと

$$\frac{H_0}{q} \frac{dp}{dx} = \sqrt{1 + p^2}$$

となり、これを変形すれば

$$\frac{H_0}{q} \frac{dp}{\sqrt{1 + p^2}} = dx$$

となる。よつてこの式の両辺の不定積分を行なつて

$$\frac{H_0}{q} \int \frac{dp}{\sqrt{1 + p^2}} = \int dx$$

$$\text{あるいは } \frac{H_0}{q} \log \left[p + \sqrt{1 + p^2} \right] = x + c$$

となる。ここに c は任意常数である。さらにこの式を変形するために $H_0/q = m$ とおけば

$$p + \sqrt{1 + p^2} = e^{\frac{(x+c)}{m}}$$

$$\text{あるいは } \sqrt{1 + p^2} = e^{\frac{x+c}{m}} - p$$

この両辺を二乗すれば

$$1 + p^2 = e^{2\frac{x+c}{m}} - 2pe^{\frac{x+c}{m}} + p^2$$

となるから、結局

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{2} \left(e^{2\frac{x+c}{m}} - 1 \right) + e^{\frac{x+c}{m}} \\ &= \frac{1}{2} \left[e^{\frac{x+c}{m}} - e^{-\frac{x+c}{m}} \right] \\ &= \sinh \frac{x+c}{m} \end{aligned}$$

となる。 $p = dy/dx$ であつたから、この式は

$$\frac{dy}{dx} = \sinh \frac{x+c}{m} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{したがつて } \int dy = \int \sinh \frac{x+c}{m} dx$$

$$y + c' = m \cosh \frac{x+c}{m} \dots\dots\dots (5)$$

となる。このようにして解 y は得られた。その中には 2 個の任意常数 c, c' をふくんでいるから、これは与えられた微分方程式 (3) の一般解である。第 1 図のような、 y 軸の左右について対称的になっている場合は、最下点 $x=0$ において曲線の勾配が 0 (水平) にならなくてはならない。式 (4) において $x=0$ に対して $dy/dx=0$ となるためには $c=0$ なるを要する。ゆえにこの場合には曲線 (5) は

$$y+c'=m \cosh h \frac{x}{m}$$

となる。もし $x=0$ における y の値を 0 にとるならば (すなわち曲線の最下点を原点 0 に一致させるならば)

$$0+c'=m \times 1$$

すなわち $c'=m$ でなくてはならない。ゆえに解 y は

$$y=m \left[\cosh h \frac{x}{m} - 1 \right] \dots \dots \dots (6)$$

となる。この式 (6) によつて与えられる曲線をカタナリー曲線 (垂曲線) とよぶ。

2. 垂曲線の性質

第 2 図において、原点を D にとると式 (6) より

$$y=m \cosh h \frac{x}{m} \dots \dots \dots (7)$$

垂曲線上の任意の点 $P(x, y)$ における接線の傾斜角を φ とすると

$$\tan \varphi = \frac{dy}{dx} \text{ であるから式 (4) の関係から}$$

$$\tan \varphi = \sinh h \frac{x}{m} \dots \dots \dots (8)$$

また曲線の最下点 D より P までの曲線の長さを l とすれば (1) 式を用いて

$$\begin{aligned} l &= \int \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} \cdot dx \text{ [(8) 式を用いて]} = \int \sqrt{1 + \sinh^2 h \frac{x}{m}} dx \\ &= \int \cosh h \frac{x}{m} \cdot dx = m \sinh h \frac{x}{m} \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

P 点における張力 T は

$$T = \frac{H}{\cos \varphi} = H \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} \text{ [(8) 式より]} = H \sqrt{1 + \sinh^2 h \frac{x}{m}}$$

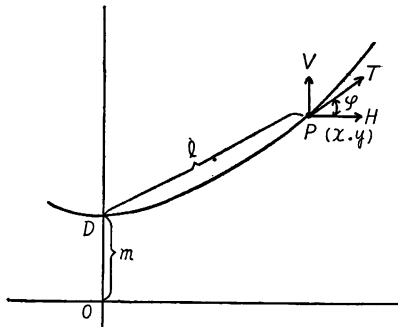
$$\begin{aligned} &= H \cosh h \frac{x}{m} \text{ (7) 式より} = H \frac{y}{m} = qy \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

P 点における垂直分力 V は

$$\begin{aligned} V &= H \tan \varphi \text{ (8) 式より} = H \sinh h \frac{x}{m} \text{ (9) 式より} \\ &= H \frac{l}{m} = ql \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

3. 支点における張力³⁾

第 3 図のごとく、支点 A, B に張られた索上の点 C_1 に



付 録 第 2 図

(10) 式より

$T_A = qy_A'$ であるから、これと式 (12)₂ との関係を用いて式 (12) の第 1 項はつぎのごとくなる。

$$\text{式 (12) 第 1 項} = q \frac{l_1}{2 \sinh \frac{kd}{2m}} \cdot \cosh \frac{kd}{2m} = \frac{ql_1}{2} \coth \frac{kd}{2m} \dots\dots\dots (12)_3$$

2) 式 (12) の第 2 項について

$$t_1 = t_A - t_{C1}$$

$$\text{式 (10) より } t_A = m \cosh \frac{x}{m} = m \cosh \frac{a+kd}{m}$$

$$t_{C1} = m \cosh \frac{a}{m}$$

であるから、これより

$$\begin{aligned} t_1 &= m \left(\cosh \frac{a+kd}{m} - \cosh \frac{a}{m} \right) \\ &= 2m \sinh \frac{2a+kd}{2m} \sinh \frac{kd}{2m} \dots\dots\dots (12)_4 \end{aligned}$$

しかるに式 (11) より $l = m \sinh \frac{x}{m}$ であるから

$$L_A = m \sinh \frac{2a+kd}{2m}$$

これを上式に代入して

$$t_1 = 2L_A \sinh \frac{kd}{2m} \dots\dots\dots (12)_5$$

$$\text{ゆえに第 2 項} = \frac{qt_1}{2} \dots\dots\dots (12)_6$$

式 (12)₃ と (12)₆ とより式 (12) はつぎのように書き改められる。

$$T_A = -\frac{q}{2} \left(l_1 \coth \frac{kd}{2m} + t_1 \right) \dots\dots\dots (13)$$

同様にして下方張力 T_B はつぎのごとくなる。

$$T_B = -\frac{q}{2} \left(l_2 \coth \frac{(1-k)d}{2m} - t_2 \right) \dots\dots\dots (14)$$

3) 式 (13), (14) の l_1, l_2 はつぎのごとくして求められる。

まづ $\frac{l^2 - t^2}{d^2}$ の関係を求める。

式 (12)₁; (12)₄ を用いて

$$\begin{aligned} l_1^2 - t_1^2 &= \left(2m \sinh \frac{kd}{2m} \right)^2 \left(\cosh^2 \frac{2a+kd}{2m} - \sinh^2 \frac{2a+kd}{2m} \right) \\ &= \left(2m \sinh \frac{kd}{2m} \right)^2 \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

両辺を $(kd)^2$ で割ると

$$\frac{l_1^2 - t_1^2}{(kd)^2} = \left(\frac{2m}{kd} \sinh \frac{kd}{2m} \right)^2 \dots\dots\dots (15)_1$$

同様にして

$$l_2^2 - t_2^2 = \left[2m \sinh \frac{(1-k)d}{2m} \right]^2 \dots\dots\dots (15)_2$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{式 (15) より } 2m \sinh \frac{kd}{2m} \equiv \rho_1 \\ \text{式 (15)}_2 \text{ より } 2m \sinh \frac{(1-k)d}{2m} \equiv \rho_2 \end{array} \right\} \text{とおくと}$$

$$l_1^2 = t_1^2 + \rho_1^2$$

$$l_2^2 = t_2^2 + \rho_2^2$$

$l = l_1 + l_2$ であるから両辺 2 乗して

$$l^2 = l_2^2 + 2l_1l_2 + l_1^2$$

$$\text{または } l^2 - (l_1^2 + l_2^2) = 2l_1l_2$$

さらに両辺を 2 乗すると

$$l^4 - 2l^2(l_1^2 + l_2^2) + (l_1^2 + l_2^2)^2 - 4l_1^2l_2^2 = 0$$

$$\therefore l^4 - 2l^2(l_1^2 + l_2^2) + (l_1^2 - l_2^2)^2 = 0$$

これにさきに求めた関係

$$\left. \begin{array}{l} l_1^2 + l_2^2 = (t_1^2 + t_2^2) + (\rho_1^2 + \rho_2^2) \\ l_1^2 - l_2^2 = (t_1^2 - t_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2) \end{array} \right\} \text{を代入すると}$$

$$l^4 - 2l^2[(t_1^2 + t_2^2) + (\rho_1^2 + \rho_2^2)] + [(t_1^2 - t_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2)]^2 = 0$$

また $t_2 = t - t_1$ であるから, この関係を上式に代入して t_1 について解くと [注 1 参照]

$$t_1 = \frac{1}{2} \left\{ t \left[1 + \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right] + l \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

同様にして

$$t_2 = \frac{1}{2} \left\{ t \left[1 - \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right] - l \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\} \dots\dots\dots (16)_1$$

同様な手法により

$$l_1 = \frac{1}{2} \left\{ l \left[1 + \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right] + t \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

$$l_2 = \frac{1}{2} \left\{ l \left[1 - \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right] - t \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\} \dots\dots\dots (17)_1$$

4. $K = \frac{1}{2}$ の場合の支点における張力

1) 式 (13) における l_1, t_1

式 (16) において, $K = 1/2$ の場合

$$\rho_1 = \rho_2 = 2m \sinh \frac{d}{4m} \text{ となるから}$$

$$t_1 = \frac{1}{2} \left\{ t + l \sqrt{1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{l^2 - t^2}} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

これより次式が導かれる。

$$\sqrt{1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m}\right)^2}{l^2 - t^2}} = \frac{2t_1 - t}{l} \dots\dots\dots (18)_1$$

式 (17) において $K=1/2$ の場合

$$l_1 = \frac{1}{2} \left\{ l + t \sqrt{1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m}\right)^2}{l^2 - t^2}} \right\} \dots\dots\dots$$

上式に式 (18)₁ を代入して

$$l_1 = \frac{1}{2} \left\{ l + t \frac{2t_1 - t}{l} \right\} \dots\dots\dots (18)_2$$

中央垂下量を s とすると、

$$2s = 2t_1 - t \dots\dots\dots (18)_3$$

この関係を式 (18)₂ に代入すると

$$l_1 = \frac{l}{2} + \frac{t}{l} s \dots\dots\dots (18)_4$$

注 1 : 式 (16) の誘導

$$l^4 - 2l^2[(t_1^2 + t_2^2) + (\rho_1^2 + \rho_2^2)] + [(t_1^2 - t_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2)]^2 = 0$$

上式に $t_2 = t - t_1$ を代入すると

$$l^4 - 2l^2[t_1^2 + (t - t_1)^2 + (\rho_1^2 + \rho_2^2)] + [t_1^2 - (t - t_1)^2 + \rho_1^2 - \rho_2^2]^2 = 0$$

$$l^4 - 2l^2[2t_1^2 - 2t \cdot t_1 + (t^2 + \rho_1^2 + \rho_2^2)] + (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2 + 4t(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)t_1 + 4t^2 \cdot t_1^2 = 0$$

t_1 について整頓すると

$$(4t^2 - 4l^2)t_1^2 + \{4t(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + 4l^2t\}t_1 + \{l^4 - 2l^2(t^2 + \rho_1^2 + \rho_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2\} = 0$$

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{1}{4(t^2 - l^2)} \left[-2t(\rho_1^2 - \rho_2^2 + l^2 - t^2) \pm \sqrt{4t^2(\rho_1^2 - \rho_2^2 + l^2 - t^2)^2 - 4(t^2 - l^2)\{l^4 - 2l^2(t^2 + \rho_1^2 + \rho_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2\}} \right] \\ &= \frac{t}{2} \left(1 + \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right) \pm \frac{1}{4(t^2 - l^2)} \sqrt{4t^2(\rho_1^2 - \rho_2^2 + l^2 - t^2)^2 - 4(t^2 - l^2)\{l^4 - 2l^2(t^2 + \rho_1^2 + \rho_2^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2\}} \end{aligned}$$

$\sqrt{\quad}$ 内は 4 を $\sqrt{\quad}$ の外に出して

$$\begin{aligned} \sqrt{\quad} \text{の内} &= t^2 \{ (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2 + 2l^2(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + l^4 \} + (l^2 - t^2) \{ l^4 - 2l^2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) + (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2 \} \\ &= (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2 l^2 + t^2 l^2 \{ 2(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + l^2 \} + (l^2 - t^2) l^2 \{ l^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) \} \\ &= l^2 \{ (\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2)^2 + t^2 \{ 2(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + l^2 \} + (l^2 - t^2) \{ l^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) \} \} \\ &= l^2 [(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2 - 2t^2(\rho_1^2 - \rho_2^2) + t^4 + t^2 \{ 2(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + l^2 \} + (l^2 - t^2) \{ l^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) \}] \\ &= l^2 [(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2 + t^2 \{ -2(\rho_1^2 - \rho_2^2) + t^2 + 2(\rho_1^2 - \rho_2^2 - t^2) + l^2 \} + (l^2 - t^2) \{ l^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) \}] \\ &= l^2 [(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2 + t^2(l^2 - t^2) + (l^2 - t^2) \{ l^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2 + t^2) \}] \\ &= l^2 [(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2 + (l^2 - t^2) \{ l^2 - t^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2) \}] \end{aligned}$$

$$\text{よつて第 2 項} = \frac{2l}{4(t^2 - l^2)} \sqrt{(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2 + (l^2 - t^2) \{ l^2 - t^2 - 2(\rho_1^2 + \rho_2^2) \}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{l}{2} \sqrt{\left(\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right)^2 - 2 \frac{\rho_1^2 + \rho_2^2}{l^2 - t^2} + 1} \\ &= \frac{l}{2} \sqrt{\frac{(\rho_1 - \rho_2)^2 (\rho_1 + \rho_2)^2}{(l^2 - t^2)^2} - 2 \frac{\rho_1^2 + \rho_2^2}{l^2 - t^2} + 1} \\ &= \frac{l}{2} \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \end{aligned}$$

$$\text{ゆゑに } t_1 = \frac{1}{2} \left\{ t \left[1 + \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{l^2 - t^2} \right] + l \sqrt{\left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{式 (18)}_3 \text{ より } t_1 = s + \frac{t}{2} \dots\dots\dots (18)_5$$

$$2) \text{ 式 (13) における } \coth \frac{Kd}{2m}$$

式 (12)₅ より

$$L_A' = \frac{t_1}{2 \sinh \frac{Kd}{2m}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{また } 2L_{C1} + l_1 = L_A + L_{C1}$$

式 (9) の関係より

$$\begin{aligned} L_A + L_{C1} &= m \left(\sinh \frac{a + Kd}{m} + \sinh \frac{a}{m} \right) \\ &= 2m \sinh a + \frac{Kd}{m} \cosh \frac{Kd}{2m} \\ \text{しかるに } m \sinh \frac{a + \frac{Kd}{2}}{m} & \quad L_A' \text{ であるから} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_A + L_{C1} &= 2L_A' \coth \frac{Kd}{2m} \quad (19) \text{ 式を代入して} \\ &= t_1 \coth \frac{Kd}{2m} \end{aligned}$$

よつて前にもどつて

$$2L_{C1} + l_1 = t_1 \coth \frac{Kd}{2m} \dots\dots\dots (19)_1$$

同様にして

$$2L_{C2} - l_2 = t_2 \coth \frac{(1-K)d}{2m} \dots\dots\dots (19)_2$$

$$(19)_1 - (19)_2$$

$$2(L_{C1} - L_{C2}) + l = t_1 \coth \frac{Kd}{2m} - t_2 \coth \frac{(1-K)d}{2m}$$

$K=1/2$ であるから

$$2(L_{C1} - L_{C2}) + l = (t_1 - t_2) \coth \frac{d}{4m}$$

$$\text{式 (18)}_3 \text{ より } t_1 - t_2 = 2s$$

$$\text{ゆゑに } 2(L_{C1} - L_{C2}) + l = 2s \coth \frac{d}{4m} \dots\dots\dots (19)_3$$

つぎに第 3 図において, C_1 点における垂直分力平衡の条件から

$$Q = V_{C1} - V_{C2} = \text{式 (11) より } q (L_{C1} - L_{C2})$$

$$\therefore L_{C1} - L_{C2} = Q/q \dots\dots\dots (19)_4$$

式 (19)₄ を 式 (19)₃ に代入して

$$\coth \frac{d}{4m} = \frac{2 \frac{Q}{q} + l}{2s} = \frac{Q/q + \frac{l}{2}}{s} \dots\dots\dots (19)_5$$

3) 以上, 式 (18)₄, (18)₅, (19)₅ を (13) 式に代入すると

$$\begin{aligned} T_A &= \frac{q}{2} \left\{ \left(\frac{l}{2} + \frac{t}{l} s \right) \left(\frac{Q}{q} + \frac{l}{2} \right) + \left(s + \frac{t}{2} \right) \right\} \\ &= \frac{ql}{2} \left\{ \left(\frac{l}{2s} + \frac{t}{l} \right) \left(\frac{Q}{ql} + \frac{1}{2} \right) + \left(\frac{s}{l} + \frac{t}{2l} \right) \right\} \\ &= \frac{ql}{2} \left\{ \left(\frac{l}{2s} + \frac{t}{l} \right) \left(\frac{Q}{ql} + 1 \right) + \frac{s}{l} - \frac{l}{4s} \right\} \end{aligned}$$

$ql = W$ (主索重量) とすると

$$2 \frac{T_A}{W} = \left(\frac{l}{2s} + \frac{t}{l} \right) \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) + \frac{s}{l} - \frac{l}{4s} \quad \dots\dots\dots (20)$$

下方支点における張力は

$$\left. \begin{aligned} l_2 = l - l_1 &= \text{式 (18)}_4 \text{ より } \frac{l}{2} - \frac{t}{l} s \\ t_2 = t - t_1 &= \frac{t}{2} - s \end{aligned} \right\} \text{であるから}$$

式 (14) は

$$2 \frac{T_B}{W} = \left(\frac{l}{2s} - \frac{t}{l} \right) \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) + \frac{s}{l} - \frac{l}{4s} \quad \dots\dots\dots (20)_1$$

$$\left(\frac{T_A}{W} + \frac{T_B}{W} \right) + 2 = \frac{T_m}{W} \quad \text{とすると}$$

(20) + (20)₁ より

$$\begin{aligned} 2 \frac{T_m}{W} &= \frac{l}{2s} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) + \frac{s}{l} - \frac{l}{4s} \\ &= \frac{l}{2s} \left(\frac{Q}{W} \right) + \frac{l}{4s} + \frac{s}{l} = \frac{l}{4s} \left(2 \frac{Q}{W} + 1 \right) + \frac{s}{l} \\ \therefore \frac{T_m}{W} &= \frac{2 \frac{Q}{W} + 1}{8 \left(\frac{s}{l} \right)} + \frac{\left(\frac{s}{l} \right)}{2} \quad \dots\dots\dots (20)_2 \end{aligned}$$

(20) - (20)₁ より

$$\frac{T_A}{W} = \frac{T_B}{W} + \frac{t}{l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (20)_3$$

また $2 \frac{T_m}{W} = \frac{T_A}{W} + \frac{T_B}{W}$ の関係式に式 (20)₃ を代入すると

$$\frac{T_m}{W} = \frac{T_B}{W} + \frac{t}{2l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) = \frac{T_A}{W} - \frac{t}{2l} \left(\frac{Q}{W} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (20)_4$$

5. 無負荷索の張力

式 (20), (20)₁ において $Q/W = 0$ とすると無負荷索の張力である。無負荷索の上方張力を, T_{A0} , 下方張力を T_{B0} , 垂下量を s_0 , 索長を l_0 とすると

$$\frac{T_{A0}}{W} = \frac{1}{2 \frac{s_0}{l_0}} + \frac{s_0}{2l_0} + \frac{t}{2l_0} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{T_{B0}}{W} = \frac{1}{8 \frac{s_0}{l_0}} + \frac{s_0}{2l_0} - \frac{t}{2l_0} \dots\dots\dots (21)_1$$

平均張力を T_{m0} とすると

$$\frac{T_{m0}}{W} = \frac{1}{8 \left(\frac{s_0}{l_0} \right)} + \frac{\left(\frac{s_0}{l_0} \right)}{2} \dots\dots\dots (21)_2$$

$$\frac{T_{A0}}{W} = \frac{T_{B0}}{W} + \frac{t}{l} \dots\dots\dots (21)_3$$

$$\frac{T_{m0}}{W} = \frac{T_{B0}}{W} + \frac{t}{2l_0} = \frac{T_{A0}}{W} - \frac{t}{2l_0} \dots\dots\dots (21)_4$$

6. 荷重点の軌跡

式 (16) より $\rho_1 \doteq Kd$, $\rho_2 \doteq (1-K)d$ とすると

$$t_1 = \frac{1}{2} \left\{ t \left[1 + \frac{(2K-1)d^2}{l^2 - t^2} \right] + l \sqrt{\left[1 - \frac{d^2}{l^2 - t^2} \right] \left[1 - \frac{(2K-1)^2 d^2}{l^2 - t^2} \right]} \right\}$$

$$\frac{l^2 - t^2}{d^2} = L \quad \text{とおけば}$$

$$t_1 = \frac{1}{2} \left[t \left(1 + \frac{2K-1}{L} \right) + l \sqrt{\left(1 - \frac{1}{L} \right) \left(1 - \frac{(2K-1)^2}{L} \right)} \right] \dots\dots\dots (22)$$

7. 索 長

式 (19)₅ より

$$2s = \left(2 \frac{Q}{q} + l \right) \tanh \frac{d}{4m}$$

両辺を 2 乗して

$$(2s)^2 = \left(2 \frac{Q}{q} + l \right)^2 \frac{\left(\sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{\left(\cosh \frac{d}{4m} \right)^2} = \left(2 \frac{Q}{q} + l \right)^2 \frac{\left(\sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{1 + \left(\sinh \frac{d}{4m} \right)^2}$$

分母に $\left(\frac{4m}{d} \right)^2$ を乗じて

$$(2s)^2 = \left(2 \frac{Q}{q} + l \right)^2 \frac{\left(\frac{4m}{d} \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{\left(\frac{4m}{d} \right)^2 + \left(\frac{4m}{d} \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}$$

両辺を l^2 で割り, $ql = W$, $qd = W'$ とおき

$m = \frac{H}{q}$ の関係も入れて書き改めると

$$\left(\frac{2s}{l} \right)^2 = \left(2 \frac{Q}{W} + 1 \right)^2 \frac{\left(\frac{4H}{W'} \sinh \frac{W'}{4H} \right)^2}{\left(\frac{4H}{W'} \right)^2 + \left(\frac{4H}{W'} \sinh \frac{W'}{4H} \right)^2}$$

いま $\frac{4H}{W'} \sinh \frac{W'}{4H} \div 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2$ とおき高次の項を省略すると

$$\text{右辺第 2 因数} \div \frac{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2}{\left(\frac{4H}{W'} \right)^2 + 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2} \div \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \frac{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2}{1 + \left(\frac{W'}{4H} \right)^2} \div \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \right]$$

よつて

$$\left(\frac{s}{l} \right)^2 = \left(\frac{Q}{W} + \frac{1}{2} \right)^2 \frac{1}{16} \left(\frac{W'}{H} \right)^2 \left[1 - \frac{1}{24} \left(\frac{W'}{H} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (23)$$

式 (18) より

$$(2t_1 - t)^2 = l^2 \left[1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{l^2 - t^2} \right]$$

式 (18) より

$$(2t_1 - t)^2 = l^2 \left[1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{l^2 - t^2} \right]$$

式 (18) より $2s = 2t_1 - t$ であるから、上式は

$$(2s)^2 = l^2 \left[1 - \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{l^2 - t^2} \right]$$

この式と前に求めた $(2s)^2$ の関係を入れると

$$l^2 \left[1 + \frac{\left(4m \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{l^2 - t^2} \right] = \left(2 \frac{Q}{q} + l \right)^2 \frac{\left(\frac{4m}{d} \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}{\left(\frac{4m}{d} \right)^2 + \left(\frac{4m}{d} \sinh \frac{d}{4m} \right)^2}$$

両辺を l^2 で割り、左辺の分母分子に $\frac{1}{d^2}$ を乗じ、また右辺第 2 因数は式 (23) の誘導において得た関

係を用いると上式は

$$1 - \frac{\left(\frac{4H}{W'} \sinh \frac{W'}{4H} \right)^2}{\frac{l^2 - t^2}{d^2}} = \left(2 \frac{Q}{W} + 1 \right)^2 \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (23)_1$$

上式の左辺を前同様近似法により導くと

$$\text{左辺} = 1 - \frac{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2}{\frac{l^2 - t^2}{d^2}}$$

$$\text{また } \frac{1}{1 - \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2} \div 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 \frac{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2}{1 - \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2} \div 1 + \frac{W'}{4H} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2$$

とおくと、式 (23)₁ は

$$1 + \frac{2}{3} \left(\frac{W'}{4H} \right)^2 - \frac{1 + \left(\frac{W'}{4H} \right)^2}{\frac{l^2 - t^2}{d^2}} = \left(2 \frac{Q}{W} + 1 \right)^2 \left(\frac{W'}{4H} \right)^2$$

両辺に $\frac{1}{3}\left(\frac{W'}{4H}\right)^2$ を加えて整理すると

$$\left[1 + \left(\frac{W'}{4H}\right)^2\right] \left[1 - \frac{1}{\frac{l^2-t^2}{d^2}}\right] = \left[\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2 + \frac{1}{3}\right] \left(\frac{W'}{4H}\right)^2$$

しかるに

$$1 - \frac{d^2}{l^2-t^2} = \frac{l^2-t^2-d^2}{l^2-t^2} = \frac{l^2-u^2}{l^2-t^2} = \frac{1 - \left(\frac{u}{l}\right)^2}{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2}$$

ゆえに上式は

$$\frac{\left(\frac{4H}{W'}\right)^2 + 1}{\left(\frac{Q}{2W} + 1\right)^2 + \frac{1}{3}} = \frac{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2}{1 - \left(\frac{u}{l}\right)^2} \quad (23)_2$$

式 (23) × 式 (23)₂

$$\left(\frac{s}{l}\right)^2 \frac{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2}{1 - \left(\frac{u}{l}\right)^2} = \frac{\left(\frac{Q}{W} + \frac{1}{2}\right)^2}{\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2 + \frac{1}{3}} \left\{1 - \frac{1}{24}\left(\frac{W'}{H}\right)^2\right\} \left\{\left(1 + \left(\frac{4H}{W'}\right)^2\right)\left(\frac{W'}{4H}\right)^2\right\}$$

しかるに上式右辺第 2, 第 3 因数の積

$$= \left\{1 - \frac{1}{24}\left(\frac{W'}{H}\right)^2\right\} \left\{\left(\frac{W'}{4H}\right)^2 + 1\right\} = 1 + \frac{1}{48}\left(\frac{W'}{H}\right)^2 - \frac{1}{384}\left(\frac{W'}{H}\right)^4$$

ここに第 2, 第 3 項は 1 に対して微小であるから省略すると

$$\frac{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2}{1 - \left(\frac{u}{l}\right)^2} = \frac{\left(\frac{Q}{W} + \frac{1}{2}\right)^2}{\left(\frac{s}{l}\right)^2 \left\{\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2 + \frac{1}{3}\right\}}$$

または

$$\frac{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2}{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2 - \left(\frac{d}{l}\right)^2} = \frac{\frac{1}{4}\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2}{\left(\frac{s}{l}\right)^2 \left\{\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2 + \frac{1}{3}\right\}} = \frac{1}{\left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2}\right\}}$$

逆数を取り整理すると

$$1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2 - \left(\frac{d}{l}\right)^2 = \left\{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2\right\} \left\{\left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2}\right\}\right\}$$

$$\left(\frac{d}{l}\right)^2 = \left\{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2\right\} \left[1 - \left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2}\right\}\right]$$

再び逆数を取り整理すると

$$\left(\frac{l}{d}\right)^2 \left\{1 - \left(\frac{t}{l}\right)^2\right\} = \frac{1}{1 - \left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2}\right\}}$$

右辺の分母第 2 項は 1 に対して小さいから近似式が成りたつ。

$$\left(\frac{l}{d}\right)^2 - \left(\frac{t}{d}\right)^2 \div 1 + \left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2} \right\}$$

$$\text{よつて} \quad \left(\frac{l}{d}\right)^2 = 1 + \left(\frac{t}{d}\right)^2 + \left(\frac{2s}{l}\right)^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2} \right\}$$

$$= \sec^2 \theta + 4 \left(\frac{s}{l}\right)^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3\left(2\frac{Q}{W} + 1\right)^2} \right\}$$

$\frac{Q}{W} = n$ において

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left(\frac{s}{l}\right)^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3(2n+1)^2} \right\}} \quad \dots\dots\dots (23)_3$$

無負荷索の索長 (l_0) は $n=0$ において

$$\begin{aligned} \frac{l_0}{d} &= \sqrt{\sec^2 \theta + 4 \left(\frac{s_0}{l_0}\right)^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3} \right\}} \\ &= \sqrt{\sec^2 \theta + \frac{16}{3} \left(\frac{s_0}{l_0}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (23)_4 \end{aligned}$$

付録 II 「鋼索の弾性伸びを考慮に入れて各種因子を推定する算定式」を検討するための実験

1. 実験方法ならびに実験データ

付録第 4 図に示すごとき要領で張りあげた架線の中央点に表 1 に示すごとく重錘を逐次負荷し、このときの垂下量と張力を測定した。なお支点の移動がないよう、最初支点上の鋼索に印しをつけておき負荷により生じた鋼索の移動はレバブロックにより調整した。

また両支点間の傾斜角は $0^\circ 20'$ であるから、両支点の張力は同一とみなされる。よつて支点張力はそのまま平均張力になる。

2. 各種因子の算出要領

表 1 のデータをつぎのように用いた。

表 1 実 験 デ ー タ

負 荷 量 (kg)	第 1 実 験		第 2 実 験		摘 要
	平均張力 (kg)	中央垂下量 (cm)	平均張力 (kg)	中央垂下量 (cm)	
0	940	12	500	23	$d=50.25m$ $\theta=0^\circ 20'$ 鋼索 $6 \times 19 \quad 10mm$ $q=0.365 \text{ kg/m}$
50	1080	65	760	94.5	
90	1250	97	980	127.5	
130	1400	123	1160	149.5	

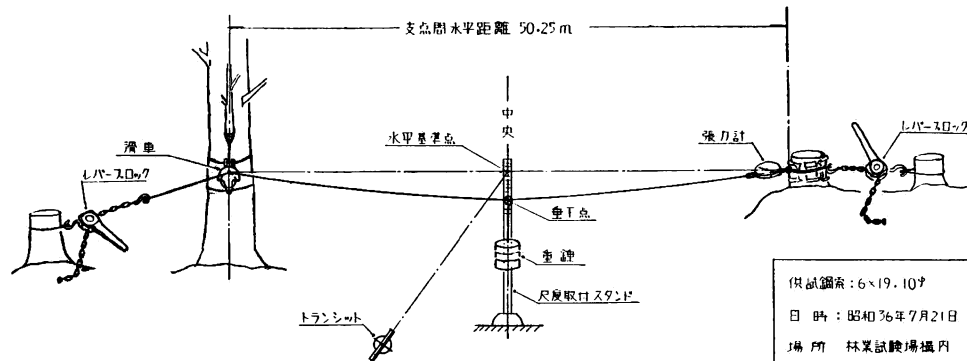
表2 無負荷時の条件から求めた E

	負荷重量 (kg)	索 長 [l_1] (m)	伸 び 率	張力増加分 [T] (kg)	応力増加分 [$=T/A$] (kg/mm ²)	$E \left[\frac{T/A}{(l_1/l_0) - 1} \right]$ (kg/mm ²)
第一実験	0	50.251... l_0				
	50	50.275	0.0004703	140	3.52	7499
	90	50.288	0.0007320	310	7.80	10668
	130	50.316	0.0012792	460	11.58	9058
第二実験	0	50.254... l_0				
	50	50.287	0.0006570	260	6.55	9968
	90	50.317	0.0012530	480	12.09	9449
	130	50.339	0.0017170	610	15.36	9682

表3 実 験 成 績

実 験 値				計 算 値								
負荷重量 (kg)	平均張力 (kg)	垂 下 比		$\frac{Q}{W} = n$	無負荷索垂下比 S_0		負荷索垂下比 S_1		平均張力 (kg)		n	
		s/l	s/d		垂曲線	拋物線	垂曲線	拋物線	垂曲線	拋物線	垂曲線	拋物線
0	900	0.00239 (S_0)	0.00239									
50	1080	0.01293	0.01294	2.73	0.00248 (+4%)	0.00248 (+4%)	0.01331 (+3%)	0.01332 (+3%)	1112 (+3%)	1113 (+3%)	2.81 (+3%)	2.68 (-2%)
90	1250	0.01929	0.01930	4.91	0.00239 (0%)	0.00239 (0%)	0.01959 (+2%)	0.01961 (+2%)	1266 (+1%)	1267 (+1%)	4.93 (0%)	4.81 (-2%)
130	1400	0.02445	0.02448	7.03	0.00248 (+4%)	0.00248 (+4%)	0.02443 (0%)	0.02464 (+1%)	1413 (+1%)	1415 (+1%)	6.74 (-4%)	6.89 (-2%)
0	500	0.00458	0.00458									
50	760	0.01879	0.01880	2.72	0.00459 (0%)	0.00459 (0%)	0.01882 (0%)	0.01882 (0%)	784 (+3%)	785 (+3%)	2.61 (-4%)	2.60 (-4%)
90	980	0.02534	0.02537	4.90	0.00465 (+2%)	0.00465 (+2%)	0.02614 (+3%)	0.02564 (+1%)	947 (-3%)	949 (-3%)	4.89 (0%)	4.87 (-1%)
130	1160	0.02970	0.02975	7.08	0.00464 (+1%)	0.00464 (+1%)	0.02946 (-1%)	0.02947 (-1%)	1180 (+2%)	1181 (+2%)	6.91 (-2%)	6.81 (-4%)

() は誤差率



付録 第4図 実験方法概要図

- 1) 無負荷時の平均張力と負荷時の平均張力を与えて「許容荷重」を求める場合
- 2) 負荷時の中央垂下量と平均張力ならびに負荷重量を与えて「無負荷時の垂下量」を求める場合。
- 3) 無負荷索に負荷を与えたときの「垂下量」を求める場合。
- 4) 無負荷索に負荷を与えたときの「張力」を求める場合。

算定式は本文 V—3 において述べた (18)_a, (18)_b; (19)_a, (19)_b; (20)_a, (20)_b の各式を用いた。

ただし鋼索断面積 A は計算断面積を用い, $A=39.7\text{mm}^2$ とし, q は JIS の値をとり $q=0.365\text{kg/m}$ とした。したがって $\rho=q/A=0.0091939$ となる。また E は表 2 のごとくバラつくが $10,000\text{kg/mm}^2$ にとつた。

3. 実験結果

前述のごとき要領で求めたそれぞれの因子の計算値と誤差率を表示すると表 3 のごとくなる。誤差率は $\pm 5\%$ 以下でかなり精度のよいことが実証された。また垂曲線式と拋物線式の値を比較すると、若干傾向を異にするところもあるが、現場的にはさほど問題にはならないと考える。

最後に本実験の実施ならびに計算業務において当機械研究室長期研修生真方鉄見（宮崎県林業講習所技師）ならびに千村和彦（長野県木曽山林高等学校教諭）両氏の協力を得た。ここに記して謝意を表わす。

文 献

- 1) 本多三雄, 上田実, 斎藤敏彦, 風間貢: 集材機作業索に関する研究 (第 2 報) フォーリングブロック式, 林試研報 93, (1957, p. 33~50
- 2) 本多三雄, 上田実, 斎藤敏彦, 風間貢, 三村和男: 集材機作業索に関する研究 (第 1 報) タイラー式, 林試研報 92, (1956), p. 99~118
- 3) 本多三雄, 秋保親悌: 集材機作業索の引張作用に関する試験, 林試研報 67, (1954)
- 4) 本多三雄, 山脇三平: 実際に使われている 3 集材機主索の張力と垂るみ量, 日林誌 34, (1952)p. 166
- 5) 吉名孝太郎: 架空索道計算法, 修教社書院, 昭 14 年 4 月
- 6) 加藤誠平: 林業用索道設計法, 金原出版株式会社, 昭 34 年 3 月, p. 59~61
- 7) 会田俊夫: 等径の丸鋼棒と比較した鋼索の機械的性質, 第 4 回ワイヤロープ研究会講演集, 昭 30 年 12 月, 日本鋳業会, p. 59
- 8) 鬼頭史城: 数学, 日本機械学会, 昭 27 年 7 月, p. 368~370

Studies on the Main Cable in Sky-line Logging. (The First Report)
On the tension of the main cable of the skidder.

Minoru UEDA, Yasuhiko ISHIBASHI, Toshihiko SAITO and Satoshi HIRAMATSU

(Résumé)

In the past only a few publications about experiments on the direct measurement of the tension of a sky-line cable have been issued. To supplement the reports the authors have observed and studied the working tension of a main cable during logging operation at a yarding place. The results are summarized as follows :

1. A cable tension meter indicated the maximum value when loaded carriage passed the mid-span, but sometimes showed the larger value when the yarder was snatching timber logs from the side place. This tendency increased when the side-snatching spot was moved towards the span center along the cable from its end point over 20% distance of the span, the maximum tension increasing 20% more than in the mid-span-loaded condition. Therefore, in such a case it is necessary to adopt a lighter load corresponding to the 80% allowable maximum tension of the cable.

2. The values of the cable tension showed good agreements in the calculation by each formula derived from either the "catenary" or the "parabolic cable" theory. [Expressions: Catenary (1), Parabolic Cable (3)]. Each formulae includes the sag at the center of span. The central-sag/rope-length ratio and the central-sag/span ratio are as follows:

$$s/l = 0.0415 \sim 0.0506$$

$$s/d = 0.0428 \sim 0.0523$$

The unit weight of wire rope is important, and calculation in which the rope weight figures in the table of JIS (Japanese Industrial Standard) were adopted, showed larger tension values of the rope than the experiment. As the experimented wire rope had been used in logging operation for a fairly long time, it was very much deteriorated. Taking the weight reduction by abrasion as 5 % and 10% of the JIS value respectively, the trial calculation of tension revealed that the former assumption deduced 1~2% increase and the latter 1~2% decrease in comparison with the measured tension. Thus the value of wire rope weight per meter influences the sky-line cable tension in the calculation, but if the figures of JIS are taken, the results are always on the safe side.

3. As the formula for tension of a sky-line cable has a simple form, including a slope angle of rope at the suspended end, it can be conveniently applied to check the working tension by merely observing the slope angle. This method contributes to the accuracy improvement if it is applied under the static condition of a carriage stopping at midspan in the same way as a central sag observation.

4. Taking the elongation of a wire rope into account, some useful expressions were derived which gave the central sag/span ratio, the allowable-load/rope weight ratio and the mean tension under various conditions. The calculated value of tensile modulus of elasticity E of the wire rope in the experiment reached about $16,000 \text{ kg/mm}^2$, while E has been said to be $10,000 \sim 13,500 \text{ kg/mm}^2$ in some literature. The authors intend to study the modulus in the near future.

5. Summarizing the results of the studies and discussions noted above, the authors proposed several formulas and also prepared many practical tables and charts for the purpose of the determination, installation and inspection of a wire rope in the sky-line cable logging.

正 誤 表

架空索運材における主索に関する実用数値表（上田・平松・石橋・斎藤）論文第 8-1 表および第 8-2 表ならびに架空索の主索に関する研究第 1 報（上田・石橋・斎藤・平松）論文 166 ページ第 22・2 図は製版の誤りにつき別紙刷込みのとおり訂正しますから貼付けて下さい。

179 ページ上から一行

$$\frac{T_{A0}}{W} = \frac{1}{2 \frac{s_0}{l_0}} + \frac{s_0}{2l_0} + \frac{t}{2l_0} \dots\dots (21) \quad \text{は} \quad \frac{T_{A0}}{W} = \frac{1}{8 \frac{s_0}{l_0}} + \frac{s_0}{2l_0} + \frac{t}{2l_0} \dots\dots (21) \quad \text{に訂正}$$